TYNDALL

LA MATIÈRE & LA FORCE


VITTORIO EM. III


MATIÈRE & LA FORCE


VITTORIO EM. III

Abonné

LA

MATIÈRE & LA FORCE

LA FORCE

ESSENCE DE LA MATIÈRE ET CONSTITUTION DES CORPS

SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES.

LA

MATIÈRE & LA FORCE

LA FORCE

DEUX

CONFÉRENCES DE M. LE PROFESSEUR

JOHN TYNDALL

Traduites en français et suivies d'une dissertation

SUR L'ESSENCE DE LA MATIÈRE, LA CONSTITUTION DES CORPS
ET LA SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

PAR

M. l'Abbé MOIGNO

PARIS
CHEZ GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
55, QUAI DES AUGUSTINS
ET AU BUREAU DU JOURNAL LES MONDES
32, RUE DU DRAGON.

LA MATIÈRE ET LA FORCE

RÉSUMÉ D'UNE LEÇON FAITE A DUNDEE PAR M. TYNDALL, PROFESSEUR A ROYAL-INSTITUTION, LE JEUDI SOIR 5 SEPTEMBRE, DANS L'IMMENSE SALLE RINNAIRD, EN PRÉSENCE DE TROIS MILLE OUVRIERS.

« Que ce soit le résultat d'une longue suite d'influences progressives, ou bien une propension inculquée primitivement dans son être et inhérente à sa nature, l'homme se montre doué d'une intelligence curieuse de connaître l'origine des choses, et il est entouré d'objets qui stimulent son désir d'explications et provoquent ses questions incessantes. On rapporte qu'un jeune prince de l'une des îles du Pacifique, voyant pour la première fois son image dans une glace, courut derrière le cadre pour savoir quelle était la personne qui s'était offerte à ses yeux : il désirait connaître la cause de cette apparition. Il en est ainsi généralement de l'intelligence humaine en présence des phénomènes du monde

extérieur. Qu'est-ce que le soleil, qu'est-ce que la terre? que verrions-nous si nous arrivions à la limite de la terre, en nous penchant sur le bord? Que signifient le tonnerre et les éclairs, la pluie, la neige, la grêle et les vents des tempêtes? Toutes ces questions se sont présentées aux hommes des premiers âges, et peu à peu il est devenu manifeste que ce désir de connaître n'était pas une vaine et impuissante curiosité; après de nombreux essais on est arrivé à la conviction que de telles questions ne sont pas absolument au-dessus de l'intelligence humaine; que l'homme peut, dans une certaine mesure, pénétrer le secret de l'univers; que ses fonctions mentales ne sont pas bornées aux perceptions des cinq sens; que les choses visibles du monde matériel sont commandées, dans leurs actions, par des choses invisibles; qu'en un mot, au delà des phénomènes qui frappent les sens, il y a des lois, des principes et des faits qui s'adressent uniquement à l'esprit, et que l'esprit seul peut discerner. Or, on trouve au fond de toute idée scientifique deux choses qui en forment la base, « *la matière et la force* », et les opérations scientifiques se réduisent à leur combinaison. Un jour, dit-on, Newton vit tomber une pomme. Pour le commun des esprits, rien de plus simple qu'un pareil fait, et l'on ne s'avise pas d'en chercher la cause. Mais Newton fut moins facile à satisfaire; il arrêta sa pensée sur ce fait et chercha à en découvrir le principe. Que cette anecdote soit vraie ou non, elle prouve, si on l'admet, que les phénomènes les plus vulgaires, ceux qui semblent n'exiger aucune explication, comme s'ils devaient avoir lieu par eux-mêmes, sont souvent ceux qui embarrassent le plus les esprits scientifiques. A la concep-

tion de la matière de la pomme, Newton ajouta celle de la force qui l'avait mise en mouvement. La chute de la pomme était la conséquence d'une attraction exercée entre la pomme et la terre. Il étendit l'idée de cette force aux soleils, aux planètes et à leurs satellites, et montra que tous leurs mouvements n'étaient que les résultats nécessaires de l'action de cette même force d'attraction. Newton, vous le savez, avait été précédé par un grand travailleur nommé John Képler, un véritable ouvrier, qui, en analysant les observations astronomiques de son maître Tycho-Brahé, avait découvert les véritables mouvements des planètes. Ces mouvements trouvés par Képler, simplement comme des faits, Newton ne les ignorait pas ; le monde entier les connaissait depuis Képler. Mais cela ne pouvait suffire. Il s'agissait de savoir quelle était la cause de ces faits ; pour Newton c'était là toute la question, la grande question sur laquelle se concentra sa vaste intelligence, et en la résolvant il a rendu son nom et sa gloire immortels. Il prouva que les mouvements planétaires donnés par l'observation étaient exactement ce qu'ils devaient être, en admettant ce principe que, dans le système solaire chaque molécule, chaque élément de matière attire chacune des autres molécules, avec une intensité qui varie en raison inverse du carré des distances. Il fit voir que la lune tombe sur la terre, et la terre sur le soleil, en vertu de la même force qui fait une pomme tomber vers la terre. Et cette force qui envahit tout, qui forme en quelque sorte le ciment de l'univers matériel, dont il n'avait fallu rien moins que la conception pour satisfaire la curiosité de Newton, est ce qu'on nomme la force de la gravitation.

Toute force peut être réduite, dans son action immédiate, à une poussée ou à une traction, suivant une ligne droite; mais les manifestations réelles de la force sont variables, et elles peuvent être assez complexes pour masquer entièrement son action élémentaire. Ses diverses manifestations ont reçu différents noms. Par exemple, voici un aimant suspendu librement; je présente une extrémité d'un second aimant à l'une des extrémités du premier, et il y a attraction. Je renverse la position de l'un des aimants, et l'attraction se change en répulsion : les attractions et répulsions qu'on obtient ainsi constituent la force magnétique. Dans le cas de la gravitation nous avons simplement attraction; dans le cas du magnétisme, l'attraction et la répulsion vont toujours ensemble; en conséquence, le magnétisme est une force double, ou, comme l'on dit ordinairement, une force polaire. Je présente à un aimant un morceau de fer, qui devient lui-même temporairement un aimant; il acquiert le pouvoir d'attirer un autre morceau de fer; et si je présente à l'aimant plusieurs morceaux de fer, non-seulement ceux-ci subiront tous l'action de l'aimant, mais en outre ils agiront les uns sur les autres. Ceci conduit à une expérience qui vous donnera une idée des arrangements que peuvent prendre les corps sous l'action d'une force polaire. Sous ce plateau de verre je place un petit aimant, et, au moyen d'une disposition optique et d'une lampe électrique, je projette sur cet écran une magnifique image de l'aimant; maintenant, je répands de la limaille de fer sur le plateau. Vous remarquez déjà que les petits grains de fer prennent un certain arrangement. Leur mouvement, toutefois, n'est pas libre; est gêné par le frottement. Je leur viens en aide par de

petits coups frappés sur le plateau, et vous voyez les belles courbes qu'ils forment par leurs groupements. Cette expérience vous fera comprendre comment un arrangement caractéristique de particules de matière, — un véritable commencement de structure, — peut résulter de l'action d'une force polaire. Nous verrons bientôt des exemples beaucoup plus remarquables d'organisation structurale lorsqu'il s'agira de la cristallisation.

Dans l'expérience précédente, la force magnétique agissait sur des particules de matière visible; mais, comme je l'ai déjà dit, il y a dans la nature de nombreuses opérations qui échappent aux yeux du corps et qui doivent prendre une figure devant les yeux de l'esprit. La chimie nous en offre continuellement des exemples. Les méditations des physiciens, aussi bien que leurs expériences, les ont amenés à conclure que la matière est composée d'atomes qui, tantôt separés, tantôt combinés entre eux, composent, sous ces deux états, le monde matériel. L'air que nous respirons, par exemple, est presque entièrement un mélange d'atomes de deux sortes de substances, qu'on nomme l'oxygène et l'azote. L'eau, que nous buvons, est aussi composée de deux substances distinctes, qu'on nomme l'oxygène et l'hydrogène. Mais, dans son mode de composition, l'eau diffère de l'air par une circonstance digne de remarque, c'est que : dans l'eau, l'oxygène et l'hydrogène ne sont pas simplement dans un état de mélange *mécanique*, ils sont combinés *chimiquement*. En effet, il existe entre les molécules d'hydrogène et celles d'oxygène des attractions extrêmement puissantes, de sorte que, dès qu'elles sont suffisamment rapprochées, elles courent à leur rencontre mutuelle, avec

une force incroyable, pour former un composé chimique. Mais, quelque puissante que soit cette force qui unit intimement les deux sortes de molécules, nous avons les moyens de rompre leurs associations, et l'agent que nous employons à cet effet mérite de fixer un peu notre attention. Dans un vase, qui contient de l'eau acidulée, je plonge ces deux lames métalliques, l'une de zinc et l'autre de platine, sans les laisser d'ailleurs se toucher dans le liquide; ensuite j'établis une communication entre les extrémités supérieures des deux lames par un fil de cuivre. En apparence, le fil ainsi employé est toujours le même; mais, dans la réalité, il s'est produit en lui quelque chose de nouveau; il est devenu le canal par lequel s'écoule ce qu'on nomme, à défaut d'une expression plus juste, le courant électrique, — une certaine force engendrée et maintenue par l'action chimique qui s'est développée dans l'eau acidulée.

En quoi consiste le changement survenu dans l'intérieur du fil, nous l'ignorons; mais les effets qui se manifestent par le seul fait de l'interposition du fil supposent nécessairement qu'il s'y est produit un certain changement. Je vais vous faire voir quelques-uns de ces effets; mais afin de les rendre plus sensibles, j'emploierai une force plus grande que celle qui est produite par une seule paire de lames et un seul vase d'eau acidulée. Je mets sous vos yeux une série de dix vases dont chacun contient une paire de lames métalliques, et qui sont arrangés de manière à décupler la force donnée par un seul vase. Un tel arrangement constitue ce qu'on nomme la pile de Volta. Je prends un fil de cuivre et le plonge dans cet amas de limaille de fer; nous voyons que la limaille refuse d'y adhérer; le fil n'exerce au-

cune action particulière sur la limaille. Je me sers ensuite du même fil de cuivre pour mettre en communication les deux extrémités de la pile, et je renouvelle l'épreuve sur la limaille.

Maintenant, les grains de fer se précipitent en foule sur le cuivre, qu'ils entourent de toutes parts et auxquels ils adhèrent fortement. Voilà déjà un des effets du courant électrique circulant dans le fil. J'interromps le courant, et la limaille tombe aussitôt; le pouvoir d'attraction ne dure qu'aussi longtemps que le fil fait communiquer les deux extrémités de la pile. Voici un autre fil de cuivre semblable au premier, mais recouvert de fil de soie pour empêcher le contact de ses diverses parties. Il est contourné en hélice. En ce moment l'hélice n'a aucune action sur ces clous de fer; mais je la place sur le passage du courant électrique, de manière qu'elle fasse partie du fil de communication entre les extrémités de la pile, et à l'instant même elle acquiert le pouvoir qu'elle n'avait pas; vous voyez avec quelle orce elle attire les clous qu'on lui présente et vide entièrement la soucoupe qui les contenait. J'enroule un fil de cuivre autour de cette barre de fer, et cette barre reste sans action sur les clous. Mais je place le fil sur le passage du courant électrique, et par cela seul elle devient un fort aimant. Voici deux grands anneaux de cuivre, ou plus exactement deux spirales, placées en face l'une de l'autre, à un intervalle d'environ 18 centimètres. En tournant une manivelle dans un sens, je fais circuler dans ces spires un courant électrique, et vous les voyez s'élancer l'une vers l'autre, entraînées par une mutuelle attraction. Si je tourne la manivelle en sens contraire, je renverse aussi le sens du courant dans

une des deux spires, et leur attraction se trouve changée en répulsion.

Tous ces effets sont dus à l'action de la force nommée courant électrique, que nous nous figurons parcourir le fil de cuivre, quand le circuit voltaïque est complet. J'ai dit qu'il ne se produit aucun changement visible dans le fil par le passage du courant. Cependant il s'y produit un changement important. Au contact de ces deux spires, je trouve qu'elles se sont échauffées. Je puis augmenter cette chaleur au point de la rendre très-visible. En face de cette table est un fil de 2 mètres de longueur. Je fais circuler dans ce fil le courant d'une pile de cinquante paires de lames; aussitôt il devient lumineux et d'un rouge éclatant. Je raccourcis le fil; j'augmente ainsi la quantité d'électricité qui le parcourt, et la lumière devient plus intense; elle passe au jaune, et du jaune au blanc; elle est maintenant éblouissante. Telle est même l'intensité de cette lumière, que le fil dont l'épaiseur est celle d'un crin, paraît aussi gros qu'une plume pour ceux de vous qui en sont rapprochés, et que pour ceux placés à une certaine distance, il semble avoir l'épaisseur d'un doigt. Cet effet, qu'on appelle l'irradiation, est toujours produit par une forte lumière. C'est le courant électrique qui fournit cette puissante lumière dont nous avons fait usage dans une de nos premières expériences. Voici en effet la lampe dont je me suis servi : elle est munie de deux crayons de charbon de cornue, et c'est le passage du courant de l'un à l'autre qui détermine la production de cette lumière presque aussi brillante que le soleil. Une pareille lumière nous sera fort utile dans les expériences qui doivent suivre.

Cela posé, revenons au point où j'ai commencé à vous parler des courants électriques, et de leur emploi pour opérer la décomposition de l'eau dans ses deux principes constituants, l'oxygène et l'hydrogène. J'espère vous rendre visible l'action du courant pour cet objet. Dans ce petit bocal qui contient de l'eau, je plonge ces deux minces fils de cuivre. Au moyen d'un microscope solaire et de la lumière de notre lampe électrique, je projette sur cet écran une image très-agrandie du bocal et des deux fils. Maintenant, d'une petite pile placée sur cette table, je fais partir un courant qui va d'un fil à l'autre. Vous voyez immédiatement des bulles de gaz se former sur le passage du courant et se réunir autour de chaque fil : ces gaz sont précisément ceux dont l'eau est composée. Vous remarquerez en outre que les deux gaz ne montent pas avec une égale vitesse le long des fils ; — celui qui monte le plus rapidement est l'hydrogène, dont le volume est double de celui de l'oxygène, mais dont le poids n'est qu'un huitième de celui de cet autre gaz. Le gaz qui monte lentement est donc de l'oxygène. L'un des gaz se dégage toujours vers l'un des fils, et l'autre gaz vers l'autre fil. Il est en conséquence facile de les obtenir séparément, et voici deux récipients qu'on en a remplis. Je place une bougie allumée à l'entrée de l'un des récipients, et le gaz qu'il contient s'enflamme à l'instant, ce qui prouve que c'est bien de l'hydrogène. J'introduis dans l'autre récipient un charbon incandescent, et la combustion est singulièrement activée, ce qui annonce de l'oxygène. Actuellement, cherchons à recombiner ces deux gaz. Je pose sur ma main une bulle de savon composée d'un mélange de l'un et de l'autre dans les proportions convenables, j'approche de la

bulle la flamme d'une bougie, et le contact détermine l'explosion que vous entendez. Le mélange gazeux a détonné, sans accident pour ma main, et le résultat est de l'eau qui faisait partie de celle que nous avons décomposée. Je tiens à vous rendre aussi clair que possible ce qui s'est passé dans ces expériences. D'abord, je rappellerai que les éléments de l'eau, oxygène et hydrogène, sont en poids dans le rapport de 8 à 1; 8 grammes d'oxygène s'unissent à un d'hydrogène pour former 9 grammes d'eau. Mais si l'on considère les proportions en volume et non en poids, il faut dire que deux volumes d'hydrogène s'unissent à un volume d'oxygène pour former de l'eau. Or, c'est le rapport des volumes, et non celui des poids, qui représente le rapport des nombres d'atomes d'hydrogène et d'oxygène qui se combinent respectivement. Donc, dans chaque molécule d'eau, nous devrons voir une réunion de trois atomes, dont deux d'hydrogène et un d'oxygène.

La combinaison des atomes a pour résultat un dégagement considérable de chaleur. Qu'est-ce que cette chaleur? Quelle idée notre esprit doit-il s'en former? J'espère résoudre ces questions d'une manière satisfaisante. Voici deux billes d'ivoire suspendues par deux cordons à un même point d'appui; je les écarte l'une de l'autre, dans un même plan vertical, et je les abandonne ensuite à elles-mêmes. Elles se choquent; mais, en vertu de leur élasticité, elles reculent, et vous entendez les fortes vibrations qu'a produites leur collision. Cette expérience vous donnera une idée juste du choc d'un couple d'atomes. Il y a d'abord un mouvement des atomes l'un vers l'autre, un mouvement de translation, comme on l'appelle; mais, lorsque le contact est de-

venu assez intime, il se produit une répulsion, le mouvement de translation est arrêté et converti en mouvement de vibration. C'est un pareil mouvement vibratoire qui constitue ce qu'on nomme la chaleur. Ainsi, trois choses sont à distinguer dans notre esprit : d'abord, les atomes eux-mêmes; deuxièmement, la force avec laquelle ils s'attirent mutuellement ; en troisième lieu, l'espèce de mouvement qui suit l'exercice de cette force. Le mouvement de translation se convertit en mouvement vibratoire, et, sous cette dernière forme, il devient de la chaleur. Ce mouvement vibratoire, communiqué aux nerfs, produit la sensation de chaleur.

Je ne puis vous donner une description plus détaillée du mouvement moléculaire. Après que les atomes ont été jetés dans cet état d'agitation, il doit résulter des mouvements très-compliqués de leurs collisions incessantes; il doit se former des tourbillons moléculaires plus ou moins rapides. Pendant quelque temps, après l'acte de la combinaison, ces mouvements doivent être assez violents pour tenir à distance les unes des autres les molécules complexes qui se sont formées. L'eau est maintenue ainsi momentanément à l'état de vapeur; mais, à mesure que la vapeur se refroidit, ou, en d'autres termes, à mesure que les mouvements se calment, les molécules se rapprochent et forment de l'eau liquide. Mais voici que nous arrivons à de nouveaux et merveilleux effets de l'action des forces. Quiconque n'a jamais vu l'eau que dans ses états gazeux et liquides ne saurait imaginer ces forces nouvelles; car, aussi longtemps que l'eau se maintient à l'état liquide ou de vapeur, leur action est masquée par l'agitation que la chaleur entretient dans les molécules. Mais que la chaleur disparaisse graduellement,

qu'il n'y ait plus d'obstacles à l'union des molécules, et il se formera entre elles de nouvelles combinaisons. De même que les grains de fer, dans notre expérience magnétique, les molécules d'eau possèdent des pôles attractifs et répulsifs, et elles prennent les arrangements qui résultent de ces attractions et de ces répulsions : c'est ainsi que se forment, dans l'eau solide, ces cristaux auxquels on a donné le nom de glace. Aux yeux des adeptes de la science, ces cristaux de glace sont aussi précieux que des diamants ; ils sont aussi purs dans leur forme, aussi admirables dans l'exactitude de leurs proportions. Là, du moins, où il n'est pas survenu de cause perturbatrice, l'ordonnance de l'architecture cristalline est parfaite. En vertu du pouvoir structural qui leur est propre, les molécules se superposent aux molécules dans un ordre régulier suivant des lois déterminées, avec une précision que la main de l'homme ne saurait atteindre. Nous n'estimons le merveilleux que lorsqu'il est rare. Imaginons que des briques et des pierres soient douées d'un pouvoir de locomotion; qu'en outre, elles s'attirent et se repoussent, et que, en vertu de ces attractions et répulsions, elles viennent se placer de manière à former des maisons et des rues de la plus parfaite symétrie, n'en serions-nous pas émerveillés? Cependant, la formation d'une couche de glace, comme celle dont se recouvre en hiver la surface d'un étang, n'est pas une chose moins digne de notre admiration. Si je pouvais vous montrer les phases successives de ce travail d'architecture moléculaire, vous trouveriez que, en effet, rien n'est plus beau. Je puis, du moins, réaliser sous vos yeux l'opération inverse, en séparant les molécules dont se compose un morceau de glace, et vous jugerez par là de quelle ma-

nière elles s'agrègent. Si j'envoie de notre lampe électrique un faisceau de rayons traverser cette plaque de verre, une partie de ces rayons sera imperceptible et aura pour effet d'échauffer le verre. Si j'envoie les rayons traverser la plaque de glace, une partie encore des rayons sera absorbée, mais l'effet de cette absorption sera de fondre la glace intérieurement sans l'échauffer. Ce que nous avons ici à considérer particulièrement, c'est l'action délicate et silencieuse des rayons dans l'intérieur de la glace. Je reçois sur l'écran une image amplifiée du bloc de glace : la lumière des rayons traverse librement la glace sans la fondre, mais leur chaleur est interceptée, et elle s'emploie à l'œuvre intérieure de liquéfaction. Observez ces étoiles qui se produisent sur toute la surface de l'écran et qui augmentent en étendue à mesure que l'action se prolonge. Les étoiles sont de la glace qui se liquéfie, et vous voyez que chacune d'elles a six rayons; on dirait des fleurs à six pétales. Sous l'action de la chaleur les molécules de la glace se séparent les unes des autres, mais en laissant voir la forme élégante de leurs agrégations. Nous assistons donc ainsi à l'opération moléculaire directement inverse de celle qui produit la transformation de l'eau en glace. Nous comprenons comment chaque molécule de glace vient prendre sa place dans ce type rigoureusement hexangulaire pour former la couche superficielle de nos lacs et de nos étangs pendant l'hiver. *Les atomes marchent en cadence*, suivant l'expression du poète américain Emerson; ils suivent les lois harmonieuses qui font de la substance la plus commune de la nature un miracle de beauté aux yeux de notre intelligence. La science. quoiqu'on en dise quelquefois, ne dé-

pouille pas la nature du charme mystérieux de ses secrets; loin de là, elle nous révèle des merveilles et des harmonies cachées jusque dans les choses les plus communes. Nous retrouvons les effets de la même force dans ces festons et ces dessins en forme de fougère que la gelée du matin a déployés sur les vitres de nos fenêtres. Soufflez sur un de ces panneaux, avant que le feu de la chambre ne soit allumé, pour liquéfier la pellicule cristallisée, puis observez ce qui se produira, ce que vous verrez mieux encore si vous vous servez d'une loupe ordinaire. Après que vous aurez cessé de souffler, la pellicule abandonnée à l'action du froid vous paraîtra un instant comme douée de la vie. Tout s'y mettra en mouvement, suivant des lignes déterminées, chaque molécule marchant vers une autre molécule jusqu'à ce que l'ensemble ait repris la forme cristalline primitive. Je puis vous rendre témoins de quelque chose de semblable. Sur un plateau de verre parfaitement nettoyé je verse un peu d'eau contenant un cristal en dissolution. Une légère couche du liquide s'attache au verre, et je vais la faire cristalliser devant vous. Par un nouveau recours au microscope et à la lampe électrique, j'obtiens l'image du plateau de verre sur l'écran. Les rayons de la lampe, en même temps qu'ils éclairent le plateau, l'échauffent aussi; l'évaporation est accélérée, et il arrive un point où, la solution étant sursaturée, il se dépose de belles ramifications cristallines dont l'écran vous permet d'admirer tous les détails. Je remplace le liquide précédent par un autre contenant un autre cristal pareillement dissous. Ici l'écran est sillonné de grandes lignes semblables à des lances, desquelles partent à droite et à gauche d'autres lignes en guise de barbes de plumes.

Les molécules viennent se joindre aux molécules jusqu'à ce que le tout ait pris la rigidité cristalline. J'ajoute une certaine quantité de liquide, et, de divers points qui sont des centres de noyaux, vous voyez partir comme des traits rapides de nouvelles lignes dans toutes les directions. On dirait, pendant un instant, des groupes de molécules vivantes, puis tout rentre dans le repos. La couche d'eau glacée sur un carreau de vitre nous offre un spectacle aussi surprenant. Cette merveilleuse puissance structurale existe dans les solutions liquides qui n'ont cependant aucune forme; elle existe dans chaque goutte d'eau; mais elle y est à l'état latent, neutralisée seulement par un obstacle, et, par conséquent, elle se manifeste dès que l'obstacle est enlevé.

Je passe maintenant à un exemple de cristallisation qui vous paraîtra encore plus remarquable que les précédents. Ce liquide que vous voyez transparent comme de l'eau est une solution de nitrate d'argent, — un composé d'acide nitrique et d'argent. Par le passage d'un courant électrique à travers ce liquide, l'argent peut être séparé de l'acide, comme l'hydrogène a été séparé de l'oxygène dans la première expérience, et je vous invite à observer comment le métal se comportera pendant que ses molécules seront mises successivement en liberté. Vous voyez sur l'écran l'image du bocal qui contient le liquide, et celle des deux fils qui y plongent. Je ferme le circuit, et le courant le parcourt immédiatement. Vous voyez naître et se développer, à partir de l'un des fils, un arbre d'argent magnifique. Les branches se ramifient, et les rameaux se couvrent de feuillage. Cet arbre métallique a fait toute sa croissance au bout d'une minute, et il semble aussi parfait dans ses détails que peut

l'être un véritable végétal. Au nitrate d'argent je substitue l'acétate de plomb, formé d'acide acétique et de plomb. Le courant électrique opère encore la séparation du métal et de l'acide, et vous voyez se former lentement un arbre de plomb, affectant la forme exquise d'une fougère, dont les sommets tombent au fond du bocal à mesure qu'ils deviennent trop pesants. Ces expériences démontrent que les éléments de matière de notre terre, même ceux qu'on appelle *la matière brute*, lorsqu'ils peuvent obéir librement aux forces dont ils sont doués, se groupent sous l'influence de ces forces de manière à prendre des configurations qui rivalisent en beauté avec celles du monde végétal. Et le monde végétal lui-même, qu'est-il autre chose que le résultat des actions complexes de pareilles forces moléculaires? Ici, comme partout dans la nature, si la matière se meut, c'est qu'une force la met en mouvement; et s'il se produit une structure, c'est par le mode d'action des forces que possèdent les atomes et les molécules dont les arrangements composent la structure. Ces atomes et ces molécules ressemblent à de petits aimants qui ont leurs pôles attractifs ou répulsifs. Les pôles qui s'attirent s'unissent, les pôles qui se repoussent se fuient, et les formes végétales sont la dernière expression de ce jeu compliqué des forces moléculaires. Dans la formation de nos arbres d'argent et de plomb, nous avions besoin d'un agent pour séparer les métaux des acides avec lesquels ils étaient combinés. Un agent semblable n'est pas moins nécessaire dans le monde végétal. La matière solide dont se sont formés nos arbres de plomb et d'argent était cachée dans un liquide transparent; la matière solide qui compose nos bois et nos forêts est cachée en très-grande partie

dans un gaz transparent, qui est mêlé en petite quantité à l'air de notre atmosphère. C'est un gaz formé par l'union de l'oxygène au carbone, et nommé acide carbonique. Deux atomes d'oxygène et un de carbone composent une molécule d'acide carbonique, lequel, comme je l'ai dit, alimente les végétaux. Sous l'influence d'une force analogue au courant électrique, le carbone devient libre et se dépose dans les fibres du bois. La vapeur d'eau de l'air subit une action semblable, son hydrogène se sépare de l'oxygène et s'introduit dans les tissus de la plante, parallèlement au carbone. Dans les deux cas l'oxygène est mis en liberté et retourne à l'air atmosphérique. Mais quel est l'agent qui a le pouvoir d'arracher le carbone et l'hydrogène aux étreintes de l'oxygène? Qu'est-ce qui dans la nature joue le rôle du courant électrique dans nos expériences? Ce sont les rayons du soleil. Les feuilles des plantes absorbent à la fois l'acide carbonique et la vapeur d'eau de l'air; ces feuilles représentent les bocaux de nos expériences de décomposition par les courants électriques. Dans les feuilles les rayons solaires décomposent en même temps l'acide carbonique et l'eau; elles laissent l'oxygène s'échapper, et permettent au carbone et à l'hydrogène de suivre l'impulsion de leurs propres forces. Et de même que les attractions moléculaires de l'argent et du plomb trouvaient leur expression dans la production de ces belles ramifications que nous avons obtenues, les attractions moléculaires du carbone et de l'hydrogène devenus libres trouvent aussi leur expression dans la structure des herbes, des plantes et des arbres.

Nous avons des exemples de force mécanique dans une multitude de faits, tels qu'une chute d'eau ou un coup de

vent. Les combinaisons chimiques, et la formation des cristaux et des végétaux nous offrent des exemples de forces moléculaires. Mais avant de continuer, je désire vous faire considérer l'état présent de la surface du globe, sous le rapport de la force, en général. Je vous ai dit comment des atomes d'oxygène et d'hydrogène s'élancent à leur rencontre mutuelle pour former de l'eau. Je n'ai pas jugé nécessaire d'insister sur le degré d'énergie ou la grandeur de la force qui se développe dans cette combinaison; je vous dirai du moins, en passant, que le choc de 1 kilogramme d'hydrogène et de 8 kilogrammes d'oxygène, pour former 9 kilogrammes d'eau est plus grand que le choc de 1 000 kilogrammes tombant d'une hauteur de 6 mètres sur la terre. Or, pour que les atomes d'oxygène et d'hydrogène puissent acquérir par leurs attractions mutuelles la vitesse correspondante à cet énorme effet mécanique, il faut qu'il existe entre elles une certaine distance. C'est en franchissant cette distance qu'elles acquièrent leur vitesse. L'idée d'un intervalle entre les atomes qui s'attirent est de la plus haute importance dans notre conception du système du monde. Au point de vue des effets mécaniques, on peut distinguer à la surface du globe deux sortes de matière : la première comprend les groupes d'atomes qui en s'unissant ont satisfait leurs plus puissantes affinités, et qui ne manifestent pas d'attractions nouvelles; la seconde sorte, les corps dont les atomes ont des affinités non satisfaites et qu'il est possible de satisfaire d'une manière utile. L'emploi des machines industrielles dépend principalement de la seconde espèce de corps; elles ont toujours pour moteurs, en dernière analyse, des forces moléculaires, et ces forces ne pourraient produire de

mouvements si les molécules ne parcouraient un certain espace ; ce sont ainsi des mouvements moléculaires qu'utilisent nos machines. Nous pouvons obtenir une certaine quantité de pouvoir mécanique en combinant de l'oxygène avec de l'hydrogène ; mais une fois la combinaison faite, ces atomes ne produisent plus de force. Si maintenant nous examinons les matériaux dont se compose la croûte du globe terrestre, nous trouvons qu'ils sont formés, pour la plus grande partie, de corps dont les atomes ont déjà effectué leur union chimique, dont les affinités sont satisfaites. Le granit, par exemple, est un corps très-commun, qui se compose de silicium, de potassium, de calcium, d'aluminium et d'oxygène, toutes substances dont les atomes ont depuis longtemps effectué leurs combinaisons chimiques, et qui sont pour nous comme des corps morts. La chaux est également très-répandue. Elle se compose de carbone, d'oxygène et de calcium ; mais ces atomes ont opéré leurs combinaisons. Nous pourrions ainsi parcourir tous les matériaux de l'enveloppe terrestre, et nous convaincre que, bien que leurs atomes aient été des sources de puissance mécanique dans les siècles passés, ils ne peuvent plus être utiles sous ce rapport.

Les corps de notre seconde catégorie sont peu nombreux, comparés avec ceux de la première : on pourrait dire que ceux-ci forment la règle générale et les autres l'exception. Parmi ceux qui sont de beaucoup les plus importants, je citerai les gisements de houille, matière composée principalement de carbone qui n'a pas effectué sa combinaison avec l'oxygène, pour lequel il a une très-grande affinité. Les atomes du carbone et ceux d'oxygène sont séparés par un

intervalle qu'ils peuvent être portés à franchir par leurs attractions mutuelles, et nous ne pouvons rien faire de mieux que d'utiliser le mouvement produit par ces attractions. Mais une fois que le carbone et l'oxygène se seront combinés et qu'ils auront ainsi formé de l'acide carbonique, leurs attractions seront satisfaites, et ils seront morts comme agents mécaniques. Nos bois, nos forêts sont des sources de puissance mécanique, parce qu'ils ont aussi la propriété de s'unir à l'oxygène de l'air atmosphérique, et que le mouvement moléculaire produit par le fait même de cette union peut être utilisé en mécanique. J'ajoute maintenant que le pouvoir musculaire dérive de la même source. Quand un homme ou un cheval exécutent un certain travail, ce travail est au fond le travail moléculaire des éléments de la nourriture et de l'oxygène de l'air. Nous respirons ce gaz vital, nous le faisons parvenir à une proximité suffisante du carbone et de l'hydrogène de la nourriture ; les atomes cèdent à leur mutuelles attractions, et leur mouvement utilisé par le merveilleux mécanisme du corps devient mouvement musculaire.

Une pensée fondamentale ressort de tous ces faits, c'est tout simplement l'ancienne maxime que de rien on ne fait rien ; que dans le monde organique ou inorganique, une force ne se produit que par la dépense d'une autre force ; que ni dans les plantes, ni dans les animaux il n'y a jamais création de force ni de mouvement. Les arbres croissent, ainsi que font l'homme et les animaux, et nous avons ici un nouveau pouvoir incessamment introduit sur la terre ; mais la source de ce pouvoir est le soleil, comme je l'ai dit précédemment. C'est le soleil qui sépare l'oxygène du carbone

dans l'acide carbonique, et qui rend ainsi possibles de nouvelles combinaisons du carbone et de l'oxygène. Que ces nouvelles combinaisons s'opèrent dans le fourneau d'une machine à vapeur, ou dans le corps de l'homme, l'origine de la force qui se produit est la même. Dans ce sens, nous sommes tous *des âmes de feu et des enfants du soleil.* Mais, ainsi que le remarque Helmholtz, nous devons être contents de partager notre extraction céleste avec les derniers êtres doués de la vie. La grenouille et le crapaud, le singe et le gorille tirent leur force de la même source que l'homme. (Rires et applaudissements.) Parmi les personnes qui m'honorent de leur présence, il en est peut-être qui refusent d'admettre ces conséquences, dans lesquelles elles verraient avec effroi une tendance vers ce qu'on appelle le matérialisme. Mais il faut qu'on sache bien que le physicien doit être en effet matérialiste. Ses investigations portent uniquement sur la matière et sur la force. Il cherche à découvrir une action nécessaire, et non une action spontanée, des transformations de force ou de matière, et nullement leur création. Quelques formes que prennent la matière et la force, dans le monde organique ou inorganique, dans les couches de houilles ou les forêts, dans les cerveaux ou les muscles des animaux, le physicien ne doit se préoccuper que de cette recherche. Qu'on sache bien que si un chimiste pouvait composer de toutes pièces un enfant, il ferait cette opération comme une autre. Et pourquoi pas? quelle est la loi, quel est le précepte qui le défend? Ses recherches dans cette direction ne sont limitées que par sa propre capacité et les lois inexorables de la matière et de la force. Il se trouve sans doute, en ce moment, des hommes qui font des

expériences sur la possibilité de produire de la vie avec des matériaux du règne inorganique. Qu'ils poursuivent leurs études en paix ; ce n'est que par de tels essais qu'ils pourront apprendre les limites de leur pouvoir. Mais tandis que je plaide ainsi pour la liberté la plus large dans le domaine des recherches de l'esprit humain, tandis que, en ma qualité d'homme scientifique, je sens mon orgueil intéressé aux conquêtes de la science, tandis que je regarde la science comme le plus puissant instrument de culture intellectuelle aussi bien que de progrès matériel, ne me demandez pas si la science a résolu ou si elle promet de résoudre le problème de l'univers, car je vous répondrais en secouant tristement la tête. J'ai disserté sur la matière et sur la force; mais d'où vient la matière? d'où vient la force? Vous vous rappelez la question de Napoléon Ier, lorsque les *savants* qui l'accompagnaient en Égypte discutaient en sa présence le problème de l'univers, et le résolvaient à leur entière satisfaction : — « C'est très-bien, Messieurs, mais qui a fait tout cela? » disait-il en élevant un regard vers le ciel étoilé. Qui a fait tout cela? Cette question demeure encore sans réponse, et la réponse n'est pas cherchée par la science. (Écoutez, écoutez.) Le problème de l'univers dépasse l'intelligence humaine, et l'homme n'a pas la mission de le résoudre. L'intelligence humaine peut être comparée à un instrument de musique qui rend seulement un certain nombre de notes. Au delà des bornes de notre clavier intellectuel nous rencontrons un silence infini. Les phénomènes de la matière et de la force sont de notre domaine, mais notre domaine est circonscrit et entouré de mystères. Donnez au mystère la forme qu'il vous plaira, sur ce point je n'ai pas à discuter. Mais que

votre conception de l'Architecte de cet univers soit digne et noble, faites-en votre pensée la plus haute et la plus sainte!..

—

Pour l'instruction de ceux qui voudront répéter cette charmante leçon, énumérons de nouveau la série de ses expériences. 1. Il a montré comment un premier aimant suspendu sur un pivot central est attiré ou repoussé par un second aimant; qu'un aimant attire le fer, et que les morceaux de fer sont eux-mêmes magnétiques. 2. Il a placé la lampe ou régulateur électrique sur le dos, et fixé au-dessus de la lumière quelques plaques de verre commun pour empêcher la chaleur de faire craquer la lentille. Au-dessus de la lentille, il a disposé une plaque de verre portant deux petits aimants rectilignes. Un miroir dressé à 45° au-dessus des aimants projette leur image sur l'écran à travers une lentille perpendiculaire au faisceau des rayons. On obtenait ainsi une image nette et agrandie des aimants, et quand on venait à projeter sur leurs pôles de la limaille de fer, on voyait cette limaille, orientée et disposée par l'attraction des aimants, dessiner les lignes de force magnetique. 3. Il a plongé dans l'eau une double lame de platine et de zinc; il les a réunies par un fil, et montré que ce simple arrangement fait naître un courant électrique qui passe à travers le fil. 4. Il a envoyé dans un fil de cuivre le courant d'une pile de Grove de dix éléments, et montré que le fil devenu alors magnétique attirait la limaille de fer. Aussitôt qu'on arrêtait le courant, la limaille de fer se

détachait du fil. 5. Il a pris un fil recouvert de coton et enroulé autour d'un cylindre de fer, il a fait passer le courant dans le fil; le cylindre de fer est devenu alors un aimant assez puissant pour attirer à distance des clous de fer; quand on a rompu le courant, les clous sont tombés. 6. Il a fait passer le courant à travers deux spirales de fil de cuivre isolé, suspendues parallèlement l'une à l'autre, et il a constaté qu'elles s'attiraient l'une l'autre, en même temps qu'elles s'échauffaient. 7. Il a envoyé le courant d'une pile de Grove de 60 éléments dans un long fil de platine, tendu sur la table d'expériences, et l'on a vu le fil passer au rouge blanc. 8. Il a installé une petite cuve remplie d'eau dans le microscope électrique, et fait naître un courant au sein de l'eau par deux fils de platine reliés aux deux pôles d'une petite pile. Le courant a décomposé l'eau, en séparant l'hydrogène de l'oxygène, et l'on a vu très-agrandies les bulles de gaz qui s'échappaient des fils. 9. Il a pris un mélange de deux volumes d'hydrogène avec un volume d'oxygène, et fait avec ce mélange des bulles de savon; il a fait poser ces bulles sur sa main, et il y a mis le feu; les molécules d'oxygène et d'hydrogène se sont alors précipitées les unes sur les autres en se combinant avec explosion, et en formant de l'eau. 10. Il a placé du ferro-cyanure de potassium sur une plaque de verre, et par le moyen du microscope électrique, on a vu sur l'écran les cristaux se former et grandir. Il a fait cristalliser de la même manière du chlorure d'ammonium ou chlorhydrate d'ammoniaque en dissolution dans l'eau, et l'on a vu les cristaux se déposer sous forme de feuilles de fougères. 11. Il a déposé par l'électricité des molécules de

nitrate d'argent mises au foyer du microscope, et l'on a vu les cristaux d'argent former comme un arbuste entre les deux fils, à mesure de la décomposition. 12. Il a précipité de la même manière du plomb par la décomposition de l'acétate. 13. A la fin de sa leçon, il a éclairé la salle avec la lumière électrique nue. — F. Moigno.

Je crois être agréable au lecteur en réimprimant le résumé d'une autre leçon de M. Tyndall, qui fit sensation à l'époque où elle parut. Tome XXI de mon *Cosmos*, année 1853.

LA FORCE

RÉSUMÉ D'UNE CONFÉRENCE FAITE A ROYAL-INSTITUTION, PAR M. TYNDALL, LE 6 JUIN 1862.

Nous avons tous l'idée plus ou moins nette de la force; nous savons tous d'une manière générale ce que signifie l'expression : « force musculaire, » et chacun de nous accepterait moins volontiers le coup de poing d'un boxeur qu'une chiquenaude des doigts d'une dame. Mais ces idées générales ne nous suffisent pas; il faut que nous apprenions à exprimer numériquement la valeur mécanique de ces deux coups; c'est le premier point que nous avons à éclaircir.

Une sphère de plomb, du poids de 1 kilogramme, était suspendue à 5 mètres au-dessus du parquet; on l'a rendue libre, et elle est tombée par la pesanteur. Ce poids a mis exactement une seconde à tomber sur la terre de la hauteur à laquelle il était placé; et, au moment où il a touché la terre, il était animé d'une vitesse de 10 mètres par seconde,

c'est-à-dire que si, à cet instant, la terre avait été anéantie et son attraction annulée, le poids aurait continué à se mouvoir dans l'espace avec une vitesse uniforme de 10 mètres par seconde.

Supposons que, au lieu d'être entraîné en bas par la pesanteur, le poids soit projeté en haut, en sens contraire de l'action de la pesanteur, avec quelle vitesse devra-t-il quitter la surface de la terre pour atteindre une hauteur de 5 mètres? Avec la vitesse de 10 mètres par seconde. Cette vitesse, imprimée au poids par un bras humain ou par un autre agent mécanique, lui ferait atteindre précisément la hauteur d'où il était tombé.

Cela posé, l'élévation du poids doit être considérée comme un travail mécanique. Je puis placer une échelle contre le mur et élever le poids en le portant moi-même à la hauteur de 5 mètres; je puis aussi l'élever à cette hauteur en m'aidant d'une poulie et d'une corde; je puis enfin le projeter soudainement à cette même hauteur de 5 mètres. La quantité de travail fait, dans tous les cas, en tant qu'il s'agit de l'élévation du poids, est absolument la même. En effet, la quantité absolue de travail fait dépend seulement de deux choses : premièrement, de la quantité de matière soulevée; et, secondement, de la hauteur à laquelle elle est élevée. Si vous appelez m la quantité de matière ou la masse, et h la hauteur à laquelle elle est élevée, le produit de m par h ou mh exprimera la quantité de travail fait.

En supposant maintenant que, au lieu d'imprimer au poids une vitesse de 5 mètres par seconde, nous lui imprimions une vitesse double ou de 10 mètres par seconde, à quelle hauteur s'élèvera-t-il? Peut-être seriez-vous tenté de

répondre : « A deux fois la hauteur première ; » mais ce serait tout à fait incorrect. La théorie et l'expérience nous apprennent que le poids s'élèverait à une hauteur quatre fois plus grande ; au lieu de deux fois 5 ou de 10 mètres, il atteindrait une hauteur égale à quatre fois 5 ou 20 mètres. De même, si nous triplons la vitesse de départ, le poids atteindra une hauteur neuf fois plus grande; si nous la quadruplons, il atteindra une hauteur seize fois plus grande. En admettant, enfin, que nous fassions la vitesse de départ sept fois plus grande, nous élèverons le poids à une hauteur quarante-neuf fois plus grande ou de 245 mètres.

Maintenant, le travail fait, où ce que l'on appelle quelquefois l'effet mécanique, comme on l'a expliqué plus haut, est proportionnel à la hauteur ; et, comme une vitesse double répond à une hauteur quadruple, une vitesse triple à une hauteur neuf fois plus grande, et ainsi de suite, il est parfaitement clair que l'effet mécanique croît comme le carré de la vitesse. Si la masse du corps est représentée par la lettre m et la vitesse par v, l'effet mécanique sera alors représenté par mv^2. Dans le cas que nous avons considéré, le poids était lancé en haut et il n'avait à vaincre dans son élévation que la résistance de la pesanteur ; mais ce que nous avons dit subsisterait de la même manière si le poids avait eu à vaincre la résistance de l'eau, de la vase, de la terre, du bois ou d'un autre milieu quelconque dans lequel nous voudrions le faire pénétrer. Si, par exemple, vous doublez la vitesse d'un boulet de canon, vous quadruplerez son effet mécanique. De là naît la nécessité d'augmenter la vitesse du projectile, et la logique qui a conduit sir William Armstrong à employer des charges de poudre de 25 kilogrammes dans

ses récentes et mémorables expériences. La mesure de l'effet mécanique ou du travail est donc le produit de la masse du corps par le carré de la vitesse. Lorsqu'on lance une balle contre une cible très-résistante, on constate que, après le choc, elle est souvent brûlante. M. Fairbairn m'a appris que dans les expériences de Shoeburyness, c'est chose commune que de voir jaillir un éclair de lumière, même en plein jour, au moment où le boulet frappe la cible. Et si j'examine mon poids de plomb, après qu'il est tombé de la hauteur à laquelle il était suspendu, je trouve aussi qu'il s'est échauffé. Cela posé, l'expérience comme le raisonnement nous conduisent à cette loi remarquable, que la quantité de chaleur engendrée, de même que l'effet mécanique, est proportionnelle au produit de la masse par le carré de la vitesse. Doublez la masse, toutes les autres choses restant les mêmes, et vous doublerez votre quantité de chaleur engendrée; doublez la vitesse, tout restant d'ailleurs le même, et vous quadruplerez votre quantité de chaleur. Ici donc nous avons destruction ou extinction du mouvement mécanique ordinaire, avec production de chaleur. Je prends cet archet de violon et je le fais passer en frottant sur les cordes, vous entendez le son. Ce son est dû au mouvement imprimé à l'air; et, pour produire ce mouvement, il m'a fallu dépenser une partie de la force musculaire de mon bras. Nous pourrions dire, dans un sens très-correct, qu'ici la force mécanique de mon bras est convertie en musique; et nous disons d'une manière semblable que le mouvement empêché de notre poids qui tombe, ou le mouvement arrêté du boulet de canon, est converti en chaleur. Le mode de mouvement a changé, mais c'est toujours le mouvement continu : le mou-

vement de la masse est converti en mouvement des atomes de la masse; et ces petits mouvements atomiques, transmis aux nerfs, produisent la sensation que nous appelons chaleur. Nous connaissons, en outre, la quantité de chaleur qu'une quantité donnée de force mécanique peut développer. Notre boulet de plomb, par exemple, en tombant sur la terre engendre une quantité de chaleur suffisante à élever la température de sa propre masse de trois neuvièmes ou du tiers d'un degré centigrade. Il atteint la terre avec une vitesse de 10 mètres par seconde, et quarante fois cette vitesse serait encore une petite vitesse pour la balle d'une carabine rayée; multipliant un tiers par le carré de quarante, nous trouvons que la quantité de chaleur développée par le choc de la balle contre la cible, si on la concentrait tout entière dans le plomb dont la balle est formée, élèverait sa température à 533 degrés. Cette élévation de température serait plus que suffisante pour faire fondre le plomb. Dans la réalité, la chaleur développée est partagée entre le plomb et le corps qu'il frappe; néanmoins il sera intéressant d'examiner, dans l'occasion, si les balles des carabines rayées ne donneraient pas quelquefois des signes de fusion. Du mouvement des masses sensibles, déterminé par la pesanteur ou autrement, passons au mouvement des atomes s'élançant les uns sur les autres, entraînés par l'affinité. Un ballon en collodion, rempli d'un mélange de chlore et d'hydrogène, était suspendu au foyer d'un miroir parabolique, et l'on faisait jaillir instantanément une très-forte lumière électrique au foyer d'un second miroir placé à 7 mètres du premier : à l'instant où la lumière tombait sur le ballon, les atomes qu'il renfermait se jetaient les uns sur les autres, et le ré-

sultat de leurs combinaisons était de l'acide chlorydrique. La combustion du charbon dans l'oxygène est une vieille expérience; mais elle a aujourd'hui une signification transcendante qu'elle n'avait pas autrefois. Nous regardons l'acte de la combinaison entre les atomes de l'oxygène et du charbon comme étant de même ordre que l'acte de la chute d'un poids ou de son choc contre la terre; et la chaleur produite dans les deux cas peut se rapporter à une cause commune. Ce diamant enflammé, qui brûle dans l'oxygène comme une étoile de lumière blanche, s'enflamme et brûle par suite de la chute sur lui des atomes d'oxygène. Et si nous pouvions mesurer la vitesse de ces atomes, à l'instant de la combinaison, comme aussi leur nombre et leur poids, en multipliant la masse de chaque atome par le carré de la vitesse, en ajoutant tous les produits, nous obtiendrions un nombre qui représenterait la quantité de chaleur développée par l'union de l'oxygène et du carbone.

Jusqu'ici nous avons considéré la chaleur développée par le choc des masses de volume sensible et des atomes. On dépensait du travail pour donner le mouvement à ces atomes et à ces masses, et de la chaleur était dégagée. Mais nous renversons chaque jour cette manière de procéder, et nous engendrons du travail en dépensant de la chaleur. Nous pouvons élever un poids par la chaleur, et nous possédons dans le calorique une provision énorme de pouvoir mécanique. Ce demi-kilogramme de charbon que je tiens dans ma main produit, par sa combinaison avec l'oxygène, une quantité de chaleur, laquelle appliquée mécaniquement suffirait à élever un poids de 50 kilogrammes à une hauteur de 30 kilomètres au-dessus de la surface de la terre. Récipro-

quement, un poids de 50 kilogrammes tombant d'une hauteur de 30 kilomètres engendrerait par son choc contre la terre une quantité de chaleur égale à celle qui est développée par la combustion d'un demi-kilogramme de charbon. Partout où du travail est produit par la chaleur, la chaleur disparaît. Un canon qui lance un boulet est moins échauffé que le canon qui a tiré à blanc avec une gargousse sans boulet. La quantité de chaleur communiquée au générateur d'une machine à vapeur en travail est plus grande que celle qui résulterait de la condensation de la vapeur, après qu'elle a fait son travail; et la quantité de travail exécuté est l'équivalent exact de la quantité de chaleur perdue. On extrait annuellement des mines de l'Angleterre 84 millions de tonnes de charbon. La quantité de force mécanique représentée par cette quantité de charbon est vraiment fabuleuse. La combustion d'un seul kilogramme de charbon en supposant qu'elle ait lieu dans une minute serait équivalente au travail de 600 chevaux; et si nous supposions 108 millions de chevaux travaillant jour et nuit, avec une énergie toujours là même pendant une année, leurs efforts réunis auraient pour résultat une quantité de travail justement égale à celle que le produit annuel de nos houillières nous mettrait à même d'accomplir.

Quand on compare l'énergie de la force avec laquelle le carbone et l'oxygène s'unissent ensemble à l'énergie de la pesanteur ou de la gravitation ordinaire, l'affinité chimique apparaît presque infinie. Mais laissons à la gravité son plein jeu; permettons-lui de s'exercer dans toute sa sphère d'action. Plaçons un corps à une distance assez grande pour que l'attraction de la terre soit à peine sensible, et laissons-le

tomber de cette distance sur la terre. Il atteindra la terre avec une vitesse finale d'environ 12 000 mètres par seconde, et par son choc contre la terre, il engendrera plus de deux fois la quantité de chaleur que son poids de charbon pourrait développer en brûlant. Nous avons établi que, par sa chute à travers un espace de 15 mètres, la température de notre boulet de plomb s'élèverait du tiers d'un degré centigrade; mais un corps tombant d'une distance infinie a déjà usé 1 299 999 parties des 1 300 000 parties du pouvoir attractif de la terre, lorsqu'il arrive à 5 mètres de distance de sa surface, et pendant ces 5 mètres la terre n'exerce qu'une fraction de son attraction totale égale à $\frac{1}{1\,300\,000}$.

Tournons pour un moment nos pensées de la terre vers le soleil. Les recherches de sir John Herschel et de M. Pouillet nous ont fait connaître la dépense totale du soleil en ce qui concerne la chaleur qu'il émet, et nous pouvons, par un calcul facile, évaluer le montant de sa dépense en chaleur qui constitue la part des planètes de notre système. Des 2 300 millions de parties de lumière et de chaleur émises par le soleil, la terre en reçoit une. La chaleur totale émise par le soleil dans une minute suffirait à amener à l'ébullition 36 000 kilomètres cubes d'eau à la température de la glace fondante. Comment cette perte énorme est-elle réparée? D'où vient la chaleur du soleil, et par quel moyen est-elle maintenue constante? Aucune des combustions, aucune des affinités chimiques que nous connaissons ne serait apte à produire la température de la surface du soleil. En outre, si le soleil était simplement un corps en combustion, sa lumière et sa chaleur seraient assurément bientôt épuisées.

En supposant qu'il fût un globe solide de charbon, sa combustion couvrirait au plus la dépense de 4 600 années. Il se consumerait lui-même dans ce temps relativement court. Quel agencement produit donc cette température si élevée et conserve au soleil son trop plein de chaleur? Nous avons considéré le cas d'un corps tombant sur la terre d'une très-grande distance, et nous avons trouvé que la chaleur engendrée par son choc serait deux fois celle produite par la combustion d'un poids égal de charbon. Combien plus grande doit être la chaleur développée par un corps qui tombe sur le soleil? La vitesse maximum avec laquelle un corps peut choquer la terre est au plus de 12 kilomètres; la vitesse maximum avec laquelle un corps peut choquer le soleil est de plus de 600 kilomètres par seconde. Et comme la chaleur développée par le choc est proportionnelle au carré de la vitesse éteinte, un astéroïde tombant sur le soleil avec la vitesse maximum ci-dessus assignée engendrerait une chaleur égale à dix mille fois celle que ferait naître la combustion d'un poids de charbon égal au poids de l'astéroïde. Avons-nous quelque raison de croire que de semblables astéroïdes existent dans l'espace, et qu'ils puissent arriver à tomber sur le soleil, en constituant une sorte de pluie de pierres? Les météorites, ou étoiles filantes, qui éclatent dans l'air, sont de petits corps planétaires déviés par l'attraction de la terre, et entrant dans notre atmosphère avec une vitesse planétaire. Par le frottement contre l'air, ils s'échauffent jusqu'à l'incandescence et deviennent une source de lumière et de chaleur. Dans certaines saisons de l'année, ils pleuvent en très-grand nombre. A Boston, on en a compté 240 000 en neuf heures. Nous

n'avons aucun motif de supposer que le système planétaire est limité à de *grandes masses de poids* énormes; nous avons au contraire toute raison de croire que l'espace est peuplé de petites masses obéissant aux mêmes lois que les grandes.

Cette enveloppe lenticulaire qui entoure le soleil, et que les astronomes désignent du nom de lumière zodiacale, est probablement un amas de météores; et parce qu'ils se meuvent dans un milieu résistant, ils doivent s'approcher continuellement du soleil. En tombant sur lui, ils contribueraient à produire la chaleur observée, et ils constitueraient une source suffisante à réparer les pertes de chaleur subies annuellement par le soleil.

Le soleil, dans cette hypothèse, deviendrait incessamment plus gros; mais de combien s'augmenterait son diamètre? Si notre lune venait à tomber sur le soleil, elle développerait une quantité de chaleur suffisante à couvrir les pertes d'une ou deux années; et si notre terre à son tour tombait sur le soleil, elle couvrirait les pertes d'un siècle. Cependant les masses réunies de la lune et de la terre, si elles étaient uniformément réparties à la surface du soleil, disparaîtraient complétement. En réalité, la quantité de matière suffisante à produire l'approvisionnement du soleil en chaleur, pendant toute la durée des temps historiques, ne produirait pas d'augmentation appréciable du volume du soleil. L'accroissement de sa force attractive serait plus appréciable.

Quoi qu'il en soit de cette hypothèse, en tant que représentation des faits réels de la nature, elle montre réellement comment on peut former et maintenir un soleil par l'application des principes connus de la thermo-dynamyque.

Notre terre se meut dans son orbite avec une vitesse de

109 400 kilomètres par heure. Si ce mouvement était arrêté ou éteint, il en résulterait une quantité de chaleur suffisante à élever de 384 000 degrés centigrades la température d'un globe de plomb de même volume que la terre. Il a été prophétisé par l'apôtre saint Pierre, que les *éléments seront dissous par le feu*, *elementa ignis calore solventur :* le seul mouvement de la terre comprend tout ce qui est nécessaire et suffisant à l'accomplissement de cette prophétie. Arrêtez subitement ce mouvement, et la plus grande portion, sinon la totalité de la masse de la terre sera réduite en vapeur. Si la terre venait à tomber sur le soleil, la quantité de chaleur développée par le choc serait égale à celle engendrée par la combustion de 6 435 terres de charbon solide.

Il est une autre considération en relation avec la permanence des conditions actuelles de notre terre, et qui est très-digne d'attention. Debout sur l'un des ponts de Londres, nous remarquons que la direction du courant de la Tamise est renversée, et que l'eau remonte deux fois chaque jour. L'eau ainsi refoulée frotte contre le lit et les berges de la rivière ; et ce frottement engendre de la chaleur. La chaleur ainsi engendrée est en partie rayonnée vers l'espace et perdue, en tant du moins qu'il s'agit de la terre. Par quoi cette perte incessante est-elle réparée? Par la rotation de la terre. Examinons cette question d'un peu plus près. Concevons que la lune soit fixe, et que la terre tourne comme une roue, de l'ouest à l'est, dans sa rotation diurne. Considérons une haute montagne à la surface de la terre ; en approchant du méridien de la lune, cette montagne se comporte comme si elle était saisie par la lune et formait une sorte de manivelle au moyen de laquelle la lune ferait tourner la terre plus rapidement

autour de son axe. Lorsque la terre a passé le méridien de la lune, l'attraction de la lune sur la montagne s'exercera dans la direction opposée ; elle tendra manifestement à diminuer la vitesse de rotation de la terre, comme antérieurement elle tendait à l'augmenter. Mais si nous admettons que la montagne reste toujours à l'est du méridien de la lune, son attraction alors s'exercera toujours en sens contraire de la rotation de la terre, dont la vitesse diminuera alors nécessairement d'une quantité proportionnelle à l'intensité de l'attraction. L'onde soulevée qui constitue la marée occupe sans cesse cette position ; elle reste toujours à l'est du méridien de la lune, et de cette manière les eaux de l'Océan sont en partie traînées comme un frein le long de la surface de notre globe ; et, comme un frein, elles doivent diminuer la vitesse de rotation de la terre. Cette diminution, quoique inévitable, est cependant trop petite, pour avoir pu se faire sentir pendant la période à laquelle s'étendent nos observations sur ce sujet. En supposant donc que nous fassions tourner un moulin par l'action de la marée, et que nous produisions de la chaleur par le frottement des meules ; cette chaleur aura une origine totalement différente de celle qui serait produite par un autre moulin que le torrent descendant d'une montagne ferait tourner. La première a été produite aux dépens de la rotation de la terre, la seconde aux dépens de la radiation solaire.

Le soleil, par l'acte de la vaporisation, enlève mécaniquement toute l'humidité de notre atmosphère. Cette humidité se condense et tombe sous forme de pluie, ou bien elle se refroidit davantage et tombe sous forme de neige. Sous cette forme solide, elle s'entasse sur les sommets

alpins, et fournit la matière des glaciers des Alpes. Mais le soleil intervient de nouveau ; il rend sa liberté à l'eau solidifiée, et lui permet de descendre à la mer par sa pesanteur. La force mécanique de chacune des rivières, sur le globe, coulant vers l'Océan, a son origine dans la chaleur solaire. Aucun petit ruisseau ne descend à un niveau inférieur sans avoir été d'abord élevé à la hauteur doù il s'écoule par la puissante action du soleil. L'énergie des vents est aussi due entièrement au soleil, mais c'est de la part du soleil un tout autre travail, et il n'est pas aussi facile de le lui rattacher. Les arbres et les végétaux croissent sur la terre ; lorsqu'on les brûle, ils font naître de la chaleur directement, du pouvoir mécanique indirectement. D'où ce pouvoir dérive-t-il? Vous voyez cet oxyde de fer produit par la chute, les uns sur les autres, des atomes du fer et de l'oxygène ; voici en outre un gaz transparent que vous ne pouvez pas voir, le gaz acide carbonique, formé par la chute les uns sur les autres des atomes de l'oxygène et du fer. Ces atomes, anisi enchaînés dans une union étroite, ressemblent à notre poids de plomb tant qu'il reste à la surface de la terre. Mais de même que je puis soulever le poids et le préparer pour une chute nouvelle, je puis aussi libérer ces atomes en les séparant les uns des autres, et les mettre à même de former de nouvelles combinaisons. Dans la formation des végétaux, l'acide carbonique est la matière d'où dérive le carbone de la plante, et le rayon solaire est l'agent qui désunit les atomes, mettant l'oxygène en liberté, et permettant au carbone de se transformer en fibres ligneuses. Laissez les rayons du soleil tomber sur la surface du sable, le sable est échauffé, et il rayonne finalement au dehors autant de chaleur qu'i

en a reçu ; laissez ces mêmes rayons tomber sur une forêt, la quantité de chaleur qu'elle rayonnera sera moindre que celle qu'elle a reçue, parce que l'énergie d'une portion des rayons solaires est employée à faire croître les arbres de la manière qui a été indiquée. Sans l'intervention du soleil, la réduction de l'acide carbonique ne peut pas avoir lieu ; et lorsqu'il est intervenu, il a dépensé une quantité de lumière exactement équivalente au travail moléculaire effectué. C'est ainsi que se sont formés les arbres, c'est ainsi qu'est né le coton que je tiens dans les doigts. J'y mets le feu, il s'enflamme, l'oxygène s'unit de nouveau à son cher charbon ; et sa combustion fait naître une quantité de chaleur égale à celle que le soleil avait perdue pour le faire végéter.

Mais, pourquoi nous arrêter à la vie végétale, surtout lorsqu'elle est la source médiate ou immédiate de la vie animale ? Le soleil sépare le carbone de son oxygène, l'animal consomme le végétal ainsi formé ; dans ses artères, la combinaison des éléments séparés se refait de nouveau, et cette combinaison engendre la chaleur animale. Ainsi, à parler rigoureusement, la croissance des végétaux a pour point de départ une décomposition, la croissance des animaux a pour source immédiate une combinaison. La chaleur de nos corps et tous les efforts mécaniques que nous exerçons descendent en ligne directe du soleil. La lutte de deux boxeurs, les mouvements d'uue armée, l'élévation de son propre corps sur les pentes des montagnes par un touriste alpin, sont également des cas d'énergie mécanique dérivés du soleil. C'est ainsi, par conséquent, que nous sommes, non plus dans un sens poétique, mais dans un sens purement mécanique, des enfants du soleil. Sans les

aliments, nous serions tristement reduits à oxyder nos propres corps. L'homme qui pèse 75 kilogrammes a 32 kilogrammes de muscles; mais ces muscles, à l'état de siccité, ne pèsent plus que 7 kilogrammes et demi. Cette masse de muscles serait complétement oxydée par quatre-vingts journées de travail ordinaire, Les organes spéciaux qui ont plus à faire seraient oxydés plus tôt; le cœur, par exemple, s'il ne recevait aucune alimentation, seroit entièrement oxydé en une semaine. Prenez la quantité de chaleur due à l'oxydation directe d'une quantité donnée d'aliments, elle sera plus grande que la quantité de chaleur développée par la combustion de ces mêmes aliments dans le travail de la machine animale; et la différence ou la pérte est l'équivalent exact du travail mécanique exécuté par le corps de l'animal.

Je pourrais étendre ces considérations; il me suffirait d'ouvrir la main pour lancer des aperçus nouveaux, mais on m'avertit que je vous ai déjà entretenus trop longtemps.

A qui devons-nous les généralisations si frappantes qu'il m'a été donné de développer ce soir? Tout ce que vous avez appris est l'œuvre d'un homme dont vous avez à peine entendu parler; oui, tout ce que je vous ai présenté est extrait des mémoires d'un médecin allemand appelé Mayer. Sans stimulant extérieur, et pendant qu'il exerçait sa profession à Heilbronn, cet homme a le premier su rendre claire pour son esprit la conception de la corrélation des forces naturelles. Cependant son nom est très-rarement prononcé dans les cours de physique, et son mérite n'est qu'imparfaitement connu des savants. Conduit par ses propres et belles recherches, complétement indépendantes de celles de Mayer,

M. Joule publia en 1843 son premier Mémoire sur la valeur mécanique de la chaleur; mais déjà en 1842, Mayer avait effectivement calculé l'équivalent mécanique de la chaleur, en partant de données qu'un homme d'une originalité d'esprit rare pouvait seul mettre en jeu.

Pour déduire l'équivalent mécanique de la chaleur, il était parti de la vitesse du son dans l'air. Il publia en 1845 son Mémoire sur le mouvement organique, et appliqua la théorie mécanique de la chaleur à l'énergie vitale de la manière la plus audacieuse et la plus précise. Il embrassa aussi les autres agents naturels dans sa sphère de concentration. En 1853, M. Waterston proposa, indépendamment, la théorie météorique de la chaleur solaire; et en 1854, M. le professeur William Thomson appliqua son admirable puissance d'analyse au développement de cette théorie. Mais six ans auparavant cette même matière avait été traitée d'une manière magistrale par Mayer, et tout ce que j'en ai dit vient de lui. Si nous considérons les circonstances de sa vie et l'époque à laquelle il écrivait, nous ne pouvons manquer d'être frappés d'étonnement en voyant ce qu'il a accompli. C'était un homme de génie, travaillant en silence, animé seulement par l'amour du sujet adopté par lui, et arrivant aux plus importants résultats, bien avant ceux dont la vie est entièrement consacrée à la philosophie naturelle. Ce fut le singulier accident d'une saignée faite à un fiévreux à Java, en 1840, qui conduisit Mayer à ces spéculations transcendantes. Il remarqua que le sang veineux dans les chaudes régions des tropiques est d'un rouge beaucoup plus brillant que dans les régions plus froides; et les raisonnements qu'il fit sur ce fait l'introduisirent dans le labo-

ratoire des forces naturelles, où il a travaillé avec tant d'habileté et de succès. Vous désirez sans doute savoir ce qu'il est devenu. Sa raison l'abandonna; il devint fou et fut enfermé dans une maison d'aliénés. Il est dit dans un dictionnaire biographique allemand qu'il y mourut, mais c'est inexact. Il a recouvré sa raison, et, il est actuellement, je le crois, propriétaire de vignes à Heilbronn.

Enfin pour éclairer d'un meilleur jour les questions fondamentales de la matière et de la force, pour que cette livraison des actualités scientifiques ait l'étendue de ses aînées, pour répondre aussi à un désir qui m'a été souvent exprimé, je réimprime, en les abrégeant, deux articles du second volume de mon *Cosmos*, année 1853.

MATIÈRE ET FORCE

ESSENCE DE LA MATIÈRE. — CONSTITUTION DES CORPS. — COHÉSION ET DISTENSION.

Essence de la matière. — On peut faire sur l'essence de la matière et sur la constitution intime des corps deux hypothèses différentes et contradictoires. Dans la première, la matière serait essentiellement constituée par de petites masses étendues et sans vides, par des monades continues, c'est-à-dire formées de parties simplement virtuelles ou possibles, mais non de parties actuelles. On pourrait concevoir la matière divisée en petites parties solides qui différeront par leur forme et leur grandeur : ce seraient les *atomes* ou les derniers éléments des corps. Les atomes unis en nombre plus ou moins grand, de telle ou telle manière, plus ou moins intimement, donneraient naissance aux *molécules* des corps. Ces molécules seraient simples ou composées, suivant que les atomes qui entreraient dans leur composition seraient ou non de même forme et de même grandeur. Plusieurs molécules réunies formeraient une *particule*; et

l'agrégation des particules serait ce que nous appelons un *corps.*

Cette hypothèse en apparence n'a rien d'impossible ; en effet : 1° nous avons l'idée du continu, c'est-à-dire l'idée d'une étendue, où il y ait des parties simplement possibles et non des parties actuellement existantes ; 2° Il est faux que l'idée du continu répugne à l'idée du composé ; pour pouvoir en effet concevoir le composé, il suffit de concevoir des parties possibles, sans les supposer actuellement séparées ; le simple *totum aut nullum* est ce qui est TOUT OU RIEN ; le composé, la négation du simple est ce qui peut n'être pas tout sans être rien, *quod non totum quin nullum :* or le continu satisfait complétement à cette idée. 3° Il est faux que partout où il y a des parties possibles à l'infini, il y ait un nombre actuellement infini de parties réellement séparées, ce qui serait absurde, puisque le nombre actuellement infini est impossible. En effet, une grandeur continue n'est actuellement divisée ni en deux ni en trois parties égales, ces divisions même ne peuvent pas exister ensemble ; elles sont d'ailleurs possibles d'un nombre infini de manières. Ces divisions ne seront actuellement existantes qu'autant qu'elles auront été mécaniquement exécutées, ou du moins qu'autant que, par la pensée, on aura supposé le continu divisé en deux, trois, quatre parties, de telle ou telle manière. Par là même, le nombre des parties actuelles est rigoureusement égal au nombre des actes mécaniques produits, ou au nombre des actes de notre intelligence ; or ce dernier nombre évidemment sera toujours fini ; donc il n'existe pas dans le continu un nombre actuellement infini de parties ; donc le continu n'est pas métaphysiquement

impossible. 5° L'hypothèse du continu, comme essence de la matière, la distingue très-nettement et du point géométrique, qui n'est qu'une pure abstraction de l'esprit, et des substances spirituelles nécessairement simples. De plus, elle nous apparaît bien mieux alors impénétrable, divisible, mobile, inerte, douée, en un mot, de ses propriétés essentielles.

Néanmoins l'hypothèse des petits solides continus est complètement inadmissible. Ils ont besoin d'être créés et ils ne pourraient pas l'être. Nous ne dirons pas ici pourquoi.

Dans la seconde hypothèse, les atomes des corps seraient non de petits solides continus avec étendue et forme, mais des éléments simples sans étendue ; et, par conséquent, sans formes, des centres de force, des monades simples et dynamiques. Un certain nombre d'atomes groupés de telle manière, en tétraèdre, octaèdre, etc., placés dans l'état normal à certaines distances, mais pouvant vibrer autour de leur position d'équilibre, constitueraient la molécule; cette molécule aurait dans tous les cas sa forme, son volume et son poids propre.

Il semble, au premier abord, qu'un agrégat d'éléments simples satisfait beaucoup moins bien aux conditions d'étendue, d'impénétrabilité, d'inertie, etc. Il ne semblerait pas étendu, dans la signification propre de ce mot, car l'étendue, suivant l'idée que nous en avons, est un *être un,* qui tend vers le dehors, *aliquid unum quod ad extra tendit :* de plus, l'idée d'étendue semble pour notre esprit bien distincte de l'idée de multiplicité, or, dans un corps composé d'éléments simples, il n'y aurait proprement que multiplicité et non pas étendue. L'impénétrabilité semblerait aussi plus difficile à expliquer; car elle ne serait pas tant une propriété des

3.

atomes matériels que des forces d'attraction ou de répulsion auxquelles ils seraient soumis. L'inertie enfin de la matière, dans cette hypothèse, ne pourrait guère se conclure que de l'expérience et à travers quelques difficultés, tandis que l'idée d'un composé continu ne peut pas être séparée de l'idée d'une matière inerte. Tout cela est vrai, mais ce serait exagérer évidemment que d'exiger comme essence de la matière une étendue et une impénétrabilité absolues qui ne sont affirmées ni par le raisonnement ni par les faits; qui, nous le prouverions sans peine, sont contredites par les raisonnements et par les faits. Il y a suffisamment étendue là où il y a distance, et il y a distance là où il y a plusieurs atomes simples doués de forces attractives, atomes actuellement et nécessairement séparés les uns des autres. Il y a impénétrabilité suffisante là où l'on ne peut pas admettre que des atomes simples soient amenés à une distance de plus en plus petite, sans que le rapprochement fasse naître l'équivalent d'une gande répulsion qui les empêche de se compénétrer, quelle que soit la force qui les presse l'un contre l'autre. Il y a enfin suffisamment inertie là où des atomes sont doués équivalement de forces attractives, résolubles, si l'on veut, en impulsions, communiquées par le premier moteur. Nous acceptons, en conséquence, non-seulement comme beaucoup probable, mais comme entièrement certaine, la doctrine de Boscowich, à savoir que la matière n'est pas divisible à l'infini; qu'elle se compose essentiellement d'éléments simples, et sans étendue, ou monades; que les monades sont en nombre fini, quoique en nombre immense et incalculable, dans tous les corps; qu'elles ne sont douées ni d'intelligence ni de volonté, mais qu'elles pos-

sèdent une activité externe, en ce sens qu'elles constituent des centres d'attraction équivalente exercée en raison inverse du carré de la distance.

Il est des expériences très-simples, très-palpables, auxquelles on n'a pas assez fait attention, et qui nous semblent très-aptes à jeter un grand jour sur ces questions si délicates. En effet dans le vide, un kilogramme d'or, un milligramme d'or, un brin de plume, un atome de poussière, une goutte d'eau, etc., etc., tombent dans le même temps et avec la même vitesse. Donc la force qui précipite ou entraîne les corps à la surface de la terre n'est pas le *poids* de ces corps, ou ce que les mécaniciens appellent la *force motrice*, puisque deux corps qui ont des poids extrêmement différents, dont l'un est excessivement lourd et l'autre excessivement léger, placés dans le vide absolu, c'est à-dire soustraits à la résistance de l'air, tombent dans le même temps et avec la même vitesse. Donc ce qui fait tomber les corps, c'est la *pesanteur* ou ce que l'on a appelé *force accélératrice*. Cette pesanteur, ou cette force accélératrice, doit être évidemment quelque chose de réel, un être complétement défini en lui-même, puisqu'elle produit des effets réels et définis, qu'elle fait parcourir un espace déterminé dans un intervalle de temps déterminé. Or il serait absolument impossible de donner une réalité à cette pesanteur, de la concevoir en elle-même comme un être parfaitement déterminé, si la masse de la terre d'une part, et la masse du corps soumis à son attraction de l'autre, ne se résolvaient pas en centres de forces ou en monades dynamiques sans étendue. Si l'esprit se bornait à l'hypothèse d'atomes continus, qu'il est impossible, sans nier leur exis-

tence et sans tomber dans l'absurdité du nombre actuellement infini, de supposer divisés actuellement en éléments indivisibles, la pesanteur n'existerait pas, et nous retomberions toujours sur la conséquence inadmissible d'un effet sans cause. La force, en effet, qui, dans le vide, fait tomber un atome continu, ne peut pas être le poids de la moitié, du quart, du millionième de cet atome, puisque cette moitié, ce quart, ce millionième, supposés un instant séparés, ou même considérés simplement comme juxtaposés, tombent dans le même temps et avec la même vitesse. Pour tous les esprits sérieux, et qui ne se contentent pas de mots, il y a là très-certainement, non-seulement une difficulté insoluble, un mystère incompréhensible, mais encore une impossibilité manifeste.

Dans la théorie, au contraire, des centres de forces, ou des monades dynamiques, tout s'explique, tout se comprend, sans difficulté et sans obscurité aucune. La pesanteur alors, la force accélératrice, est l'attraction mutuelle, en raison inverse du carré de la distance, d'un centre de forces, d'une monade dynamique du globe terrestre sur un centre de forces, sur une monade dynamique du corps qui gravite vers la terre : le poids, ou la force motrice, est l'ensemble des attractions partielles de tous les centres de forces de la terre sur les centres de forces du corps.

Cette même expérience, si simple, si féconde, et que l'on a eu le grand tort de ne pas approfondir pour en tirer les enseignements si importants qu'elle renferme, prouve, et de la manière la plus invincible, que, par rapport du moins à la force d'attraction du globe terrestre ou à la pesanteur, les dernières parties ou les monades, dont se composent tous

x Vedi le osservazioni dello stesso Moigno in proposito del n.° infinito in calce alle lezioni di fisica di Cauchy.

lés corps de la nature, sont parfaitement et complétement identiques, puisque l'or, le bois, le liége, la plume, l'eau, etc., soumis à son action, parcourent les mêmes espaces égaux en temps égaux. Dès lors, la *masse* des corps, dont on n'a aucune idée nette quand on se contente de la définir vaguement *la quantité réelle de matière que possède un corps,* est, au contraire, parfaitement conçue, quand elle apparaît comme le nombre et l'ensemble des monades dynamiques ou des centres de forces renfermés dans le corps dont il s'agit. La *densité* aussi, qui devient, dans cette théorie, le rapport entre les nombres des centres de forces renfermés dans des volumes égaux du corps donné et du corps particulier pris pour terme de comparaison, reçoit une signification très-nette.

Nous avons pris, pour point de départ, la pesanteur, mais nous aurions pu raisonner de la même manière sur toutes les autres forces de la nature, par exemple, sur l'attraction universelle. Là encore, nous aurions vu que la force accélératrice et la force motrice n'ont de sens réel qu'autant qu'on ne voit partout que des centres de forces sans volume et sans étendue ; que c'est ainsi seulement qu'on peut accepter et comprendre les faits capitaux qui servent de point de départ aux systèmes que le contrôle des observations a placés au rang des vérités incontestables, ce fait, par exemple, que la force totale d'attraction exercée par la terre sur le soleil est égale à la force totale d'attraction exercée par le soleil sur la terre. Ces forces motrices sont nécessairement égales, parce qu'elles sont l'une et l'autre l'ensemble des actions de tous les centres de forces dont se compose la terre sur tous les centres de forces dont se compose

le soleil ; tandis que les forces accélératrices correspondantes sont nécessairement inégales et dans une proportion énorme, parce que l'une est l'action de tous les centres de forces du soleil sur un des centres de forces de la terre ; l'autre, l'action de tous les centres de forces de la terre sur un centre de forces du soleil ; en supposant tous les centres de forces des deux globes réunis ou concentrés respectivement aux deux centres de gravité du soleil et de la terre.

Monades enchaînées et monades libres, les m et les μ. — Considérées de plus près, et comparées à un même agent, la pesanteur, les monades dynamiques se montrent très-différentes, et se divisent par là même en deux grandes classes. Les unes, en effet, celles qui sont unies ou agrégées, de manière à constituer les molécules des substances matérielles, pèsent porportionnellement à leur nombre ; ce sont les monades *pondérables*. Les autres, au contraire, quoique tombant aussi sous l'appréciation de nos sens, la chaleur qui nous réchauffe, la lumière qui nous éclaire, l'électricité qui nous ébranle ou nous foudroie, etc., ne pèsent pas sensiblement, et on les a appelées *impondérables*. On peut accumuler sur le plateau équilibré d'une balance placé au foyer d'une lentille des milliards de milliards de rayons calorifiques ou lumineux, ou une quantité énorme de fluide électrique sans troubler l'équilibre.

Les monades pondérables et les monades impondérables diffèrent-elles essentiellement l'une de l'autre ? Sont-elles de nature entièrement différente ou opposée ? Nous disons non, certainement non : car les prétendus corps impondérables exercent incontestablement sur les corps pondérables des actions tout à fait semblables à celles que les corps pondérables

exercent les uns sur les autres, et qui supposent une réalité matérielle, absolue, une certaine masse animée d'une certaine vitesse, tout ce qui est nécessaire, en un mot, pour communiquer le mouvement à des massses pondérables et inertes.

La lumière exerce une action mécanique évidente sur la couche sensible des plaques d'argent iodurées, sur le papier préparé au nitrate d'argent, sur le verre albuminé et trempé dans l'acéto-nitrate d'argent; elle détermine la combinaison avec explosion des molécules pondérables du chlore et de l'hydrogène; elle produit la chlorophylle des plantes, etc., etc.

La chaleur écarte les molécules des corps solides, les désagrège, les fond, les réduit en vapeur, etc., etc. Le courant électrique entraîne avec lui les molécules d'eau et de sulfate de cuivre, les molécules mêmes des corps les plus pesants. La foudre fend les pierres, perce les murs, renverse les édifices, déracine les arbres, déplace des masses énormes, etc. Il ne serait peut-être pas même impossible de prouver, dans l'état actuel de la science, que, ramenées à un autre état, des monades impondérables sont devenues des monades pondérables, comme la chaleur, par exemple, qui entre en proportions définies dans les combinaisons chimiques, ou se dégage en proportions définies des décompositions chimiques. Mais cette supposition n'est encore qu'une conjecture dont nous prenons date en passant, et qui demande de nouvelles études. Les faits avérés que nous venons de citer suffisent pleinement à établir que la distinction admise, sans assez de réflexion, ne repose sur aucun fondement solide.

Mais en quoi donc les monades impondérables diffèrent-

elles des monades pondérables? par une seule circonstance grave, capitale, mais non essentielle. Les monades pondérables enchaînées par la cohésion ou par l'affinité sont relativement dans un état de repos, et, par conséquent, rien n'empêche que leurs actions mutuelles se fassent sentir, ou qu'elles gravitent les unes vers les autres. Les monades impondérables, au contraire, libres, et restées en dehors des liens de la cohésion et de l'affinité, sont animées de vitesses excessives, en présence desquelles la pesanteur et la gravitation universelle s'effacent complétement. Elles sont, si, pour mieux fixer les idées, on nous permet de recourir à des comparaisons grossières, comme un boulet lancé par une bouche de feu, qui reste en suspension dans l'air, et qui ne retomberait même pas à la surface de la terre, si sa vitesse initiale avait été assez grande; comme le rocher emporté par le torrent, et qui devient équivalemment plus léger que l'eau placée au-dessous de lui; comme l'eau contenue dans un vase ouvert que l'on fait pirouetter autour de la tête et que la force centrifuge retient captive; comme la bille que le prestidigitateur escamote avec assez de prestesse pour qu'elle échappe aux yeux les plus attentifs; comme une barre qui tourne devant l'œil avec un mouvement de rotation si rapide qu'elle devient comme invisible, etc; comme le sphinx-papillon qui communique à ses ailes un si grand nombre de battements que l'œil ne peut plus les suivre, qui paraît comme immobile et soustrait à la pesanteur au-dessus de la feuille dont il suce le fluide sucré avec sa trompe, etc. Notre esprit conçoit parfaitement qu'une masse infiniment petite, animée d'un mouvement de translation, de rotation ou de vibration extrêmement intense, puisse, d'une part, échapper

à la pesanteur, de l'autre, cependant, produire un effet de désagrégation ou de transport, parce que, relativement à ces deux effets, peser et désagréger, la vitesse extrême produit réellement des effets comme opposés. Dans le premier cas, elle dissimule la masse et la soustrait à la pesanteur ; dans l'autre, au contraire, elle supplée à la masse, et conserve à la quantité de mouvement, produit de la masse par la vitesse, ou à la force vive, produit de la demi-masse par le carré de la vitesse, une valeur sensible et capable d'un grand effet. C'est un phénomène de genre opposé, mais tout aussi facile à saisir, que ceux dont nous sommes témoins chaque jour. Ainsi, lorsque le poids énorme d'un vaisseau de ligne est équilibré par l'eau qui le porte, il n'en conserve pas moins toute sa masse, et, cependant, la main d'un seul homme suffit à le mettre en mouvement et à lui communiquer une vitesse réelle, quoique très-petite, etc., etc.

En résumé : 1° la matière qui remplit l'univers se compose de monades dynamiques ou de centres de force sans étendue, mais actifs, ou exerçant l'équivalent d'une attraction en raison inverse du carré de la distance ; 2° les monades dynamiques sont de deux sortes : les unes enchaînées par les liens de la cohésion et de l'affinité, et dans un état de repos relatif, doivent par conséquent peser et graviter les unes vers les autres ; ce sont les *monades pondérables* que nous appellerons, dans tout ce qui va suivre, les *m* ; les autres libres au contraire, complétement en dehors de la cohésion et de l'affinité, animés de vitesses excessives de translation, de rotation, de vibration, traversent sans cesse et en tous sens les systèmes des monades pondérables, et tendent à les disjoindre, à les séparer ; ce sont les monades

nommées à tort, ou conventionnellement, *impondérables*, nous les appellerons les μ.

Constitution des corps. — On désigne sous le nom générique de *corps* tous les êtres matériels qui tombent sous nos sens. Un corps est constitué par trois éléments principaux : 1° son *volume*, ou espace géométrique qu'il occupe ; 2° sa *forme* ou sa *surface* déterminée par les limites extérieures de son volume ; 3° sa *masse* ou la quantité de substance ou de matière comprise sous le volume et modelée par la forme.

Les corps se divisent en deux classes ou grands règnes : le règne organique et le règne inorganique. Les corps organisés sont ceux qui sont doués de membres ou d'organes, c'est-à-dire de parties différentes par leurs formes, leurs positions respectives, et leurs fonctions ; les corps inorganiques sont ceux qui sont formés de parties semblables ou homogènes simplement juxtaposées.

Il faut distinguer, dans un corps quelconque, ses *particules*, ses *molécules* et ses *atomes*. La *particule* est une portion très-petite du corps, de même nature que lui, solide, liquide, gazeuse ; elle est essentiellement divisible, en sorte qu'on peut la considérer comme partagée en portions plus petites, sans destruction du corps auquel elle appartient ; elle se compose de molécules tenues à distance.

La *molécule* est cette portion infiniment petite que l'on ne peut plus diviser sans détruire la substance même du corps : ainsi une molécule d'oxygène est ce dont on ne peut rien retrancher, même par la pensée, sans que l'oxygène cesse d'exister ; ou ce qu'il faut, ni plus, ni moins, pour constituer de l'oxygène. La molécule est essentiellement solide ; elle est divisible, mais avec destruction de la substance du

corps, comme nous venons de le dire; elle se partage en *atomes* ou monades, qui sont les derniers éléments du corps.

Quand les molécules d'un corps sont liées étroitement les unes aux autres par la cohésion, le corps est appelé *solide :* il est *liquide* lorsque la cohésion cesse d'unir les parties qui sont simplement juxtaposées, presque séparées ou très-facilement séparables; il est *gazeux*, lorsque, en vertu de la répulsion qui a succédé à la cohésion, les molécules sont actuellement disjointes, qu'elles tendent à se diffuser, et ne peuvent plus être maintenues juxtaposées que par un effort ou pression extérieure. Nous avons déjà dit que tous les corps sont probablement susceptibles de prendre tour à tour l'une ou l'autre de ces trois formes, qui ne sont que relatives ou accidentelles. L'eau, le mercure, etc., ne sont liquides qu'à cause de la pression atmosphérique et de la température : dans le vide, elles passent à l'état gazeux; suffisamment refroidies, elles se solidifient.

Pour faire passer un corps de l'état gazeux à l'état liquide, il suffit, en général, de rapprocher les molécules en le comprimant; quelquefois, cependant, il faut le refroidir : mais la pression ne fait jamais passer un corps liquide à l'état solide; il faut nécessairement abaisser la température, de sorte que l'état solide diffère plus de l'état liquide que l'état liquide de l'état gazeux.

Les pressions obtenues par des moyens mécaniques sont toujours bornées; par conséquent, les gaz que l'on liquéfiera et solidifiera le mieux sont ceux qu'on pourra forcer à se dégager constamment, dans un espace limité, par une action chimique nécessaire : ici, en effet, la compression n'a pas de bornes. Le gaz acide carbonique, par exemple,

qu'on a obtenu dans un vase en fonte, hermétiquement fermé, au moyen de l'action énergique de l'acide sulfurique sur le carbonate de soude, se comprime lui-même et se liquéfie; et si en donnant une issue à ce liquide, on lui permet de se dilater instantanément, le froid excessif produit par la dilatation suffira pour solidifier une partie du gaz qui apparaîtra sous la forme d'une neige blanche très-divisée.

Attraction universelle. — Tous les phénomènes de la nature, la pesanteur, le mouvement sous toutes ses formes, les affinités chimiques, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, ont pour cause unique et dernière les actions exercées les uns sur les autres par les centres de force ou atomes dynamiques, les m et les μ, actions qui, en dernière analyse, se réduisent à l'attraction en raison inverse de la distance.

Newton, ce hardi créateur de la magnifique théorie de l'attraction universelle, théorie qui lui a donné la clef de tant de mystères avant lui impénétrables, les mouvements et les perturbations des planètes, la marche des comètes, la figure de la terre, les marées des océans, la précession des équinoxes, le déplacement des nœuds de la lune, etc., etc.; Newton, en finissant son immortel livre des *Principes*, avertit son lecteur qu'il n'a parlé de l'attraction que comme d'un fait, d'une force, dont l'existence et les lois sont constatées et démontrées par l'observation.

Il se montre assez disposé à aborder la recherche beaucoup plus délicate des causes mêmes de l'attraction ; il laisse entrevoir, dans le lointain, un fluide subtil qui traverserait les

corps solides ou s'accumulerait dans leur intérieur, et dont l'intervention pourrait expliquer plusieurs propriétés physiques des corps, la cohésion, l'impénétrabilité, les affinités chimiques, les attractions et les répulsions électriques ou magnétiques, la pesanteur, les attractions des corps célestes, et mêmes plusieurs effets physiologiques du genre de ceux que l'on a parfois attribués à un fluide nerveux. Dans les questions posées par lui à la fin de son *Optique*, il revient sur les mêmes idées, il reprend son fluide universel, son éther comme pouvant donner la clef des actions exercées par les corps sur les rayons lumineux, etc.

On se tromperait grandement si l'on attribuait à Newton l'opinion inconsidérée et insoutenable des physiciens et des philosophes modernes, qui voient dans l'attraction proportionnelle aux masses, et en raison inverse du carré de la distance une propriété intrinsèque et inhérente à la matière ; qui fait de molécules essentiellement inertes des foyers d'activité et de mouvement. Non, Newton n'a pas mérité les plaisanteries acérées, les objections écrasantes sous lesquelles le grand Euler, dans ses incomparables *Lettres à une princesse d'Allemagne*, a enseveli à jamais les partisans des attractions réelles. S'il est quelque chose de certain au monde, c'est que les molécules des corps, et les corps eux-mêmes, ne s'attirent pas réellement; c'est que l'attraction n'est pas une force réelle, mais seulement une force explicative ; c'est que tout se passe comme si les corps s'attiraient, quoiqu'il soit incontestablement vrai que les corps ne s'attirent pas. Newton, comme Euler, comme tous les philosophes dignes de ce nom, n'ont pu voir dans la matière que deux choses, l'inertie et le mouvement primitivement imprimé par une

volonté libre, moteur premier et infini. Et c'est avec ces deux grandes choses, l'inertie et le mouvement, que la science avancée doit pouvoir expliquer un jour tous les phénomènes du monde physique.

Déjà des esprits courageux se sont efforcés d'expliquer par l'inertie et le mouvement le grand fait, le fait capital de l'attraction universelle; mais ces explications ne sont ni assez nettement formulées, ni assez plausibles pour que nous puissions en donner même une idée. Rien ne prouve d'ailleurs que cette attraction ne soit pas un premier principe, ayant pour cause essentielle et unique la volonté libre du Dieu créateur. Dieu, pour constituer le monde matériel, aurait décrété que les atomes graviteraient l'un vers l'autre; comme il a donné aux minéraux l'être ; aux plantes l'être et la vie; aux animaux l'être, la vie, la sensation et l'instinct; à l'homme l'être, la vie, la sensation, le sentiment et l'intelligence. A ce point de vue philosophique, et seul vrai, nous le pensons du moins, l'attraction serait l'attraction, comme l'être est l'être; la vie, la vie; l'intelligence, l'intelligence; elle ne serait pas la conséquence de phénomènes antérieurs, mais le point de départ de tous les phénomènes, le premier anneau de la chaîne soutenu par le seul doigt créateur.

Cohésion et distension. — En admettant cette première et vaste inconnue, ce mystère premier et impénétrable, l'attraction universelle, comment pourra-t-on du moins dégager les autres mystères du monde matériel, le mystère d'abord de la *cohésion*, de cette force singulière qui lie entre elles des molécules séparées par des intervalles vides, et les empêche de se perdre dans l'espace ou de se précipiter isolément sur le corps vers lequel elles gravitent, vers la terre

par exemple, s'il s'agit des corps situés dans la sphère d'attraction de notre globe ; la *distension* ensuite comprenant la dilatation, la vaporisation, tous les faits, en un mot, que l'on a attribué jusqu'ici à de prétendues forces répulsives.

Cohésion ou action des m sur les m. — M. Séguin a réussi le premier à expliquer complétement la cohésion, ou force de contact qui fait que les molécules des corps adhèrent les unes aux autres, par la simple considération du volume infiniment petit des molécules matérielles, ajoutée à la loi de l'attraction universelle.

L'action qu'une agrégation de molécules, ou une certaine masse matérielle, exerce sur une autre masse semblable, placée au contact, peut être envisagée de deux manières : premièrement, en considérant séparément les deux ensembles de molécules comme condensés ou concentrés respectivement en leur centre de gravité, et agissant l'un sur l'autre en raison directe des masses , en raison inverse du carré des distances ; secondement, en les supposant formés par la réunion des molécules très-denses et très-petites, séparées par des espaces vides beaucoup plus étendus que les espaces pleins qu'elles occupent.

Dans le premier cas, en désignant par l'unité la masse des ensembles de molécules, ensembles que nous supposons, pour plus de simplicité, sphériques, égaux et placés à l'unité de distance, leur attraction mutuelle sera exprimée par *un* divisé par *un* élevé au carré, ou par *un*.

Dans le second cas, il en sera tout autrement. Admettons, en effet, pour fixer les idées, que les deux sphères sont formées par la réunion de douze files de soixante molécules chacune, disposées en forme de rayons dans leur intérieur,

inclinées les unes sur les autres de soixante degrés, et unies par d'autres files également de soixante éléments chacune. Le polyèdre, unique en son genre, obtenu ainsi, et qui résulte naturellement de la juxtaposition de molécules sphériques, de manière à remplir l'espace, est le cubo-octaèdre des minéralogistes; il est quasi-régulier et inscriptible dans une sphère qu'il rencontre en douze points.

En faisant abstraction des molécules qui se superposent dans les angles, le nombre des petits globules qui entrent dans la formation des deux grosses sphères est égal à 2160, et la masse de chaque molécule ou petite sphère est la 2160e partie de l'unité.

De plus, comme il y a 120 molécules entre les centres des deux grosses sphères, ou sur la distance égale à deux fois l'unité de leurs centres de gravité, la distance entre les centres de deux petites sphères ou molécules contiguës sera égale à un 120e; par conséquent, l'attraction d'une de ces ces petites sphères ou molécules sur sa voisine est exprimée par

$$\frac{1}{2160} : \left(\frac{1}{120}\right)^2 = \frac{14400}{2160} = 6{,}66\ldots,$$

c'est-à-dire que, en raison de leur ténuité et de leur rapprochement, les petites molécules exercent l'une sur l'autre une attraction six fois plus considérable que celle des deux sphères tout entières l'une sur l'autre.

Si au lieu de 60 molécules dans chaque file, nous en supposons 600 000, chaque petite sphère ou molécule exercerait sur sa voisine une attraction égale à $1\,200\,000^2$ élevé au carré, et divisé par 21 600 000, ou à 66 666; ce qui montre, comme il était facile de le prévoir, que l'attraction

entre les molécules, comparée à celle des deux corps entre eux, croît en raison directe de leur division.

Et comme d'ailleurs, l'on peut supposer que les files sont composées d'un nombre de molécules aussi grand que l'on voudra, il en résulte qu'on est libre d'imaginer pour un corps une forme constitutive telle que l'une quelconque des molécules exerce sur sa voisine une attraction plus grande que celle qu'exercerait sur cette molécule tout autre corps formé de la même matière, quel que soit d'ailleurs le volume ou la masse que l'on puisse supposer à ce corps.

M. Séguin ne s'est pas arrêté à ce résultat général, il a recherché quelles seraient les conditions de masse, de densité, de distance et d'arrangement, qu'il faudrait attribuer aux molécules qui, par leur réunion, forment les corps doués de la propriété de cohésion, pour permettre à ces corps de rester ainsi constitués lorsqu'ils se trouvent sous l'influence d'une masse puissante comme la terre, et lors que le calcul indique que l'attraction de cette masse sur les diverses parties de ces corps est plus grande que l'attraction de ces mêmes parties entre elles, en les considérant les unes et les autres comme concentrées respectivement à leur centre de gravité.

C'est bien de cette manière que doit être formulé le problème ; car, si l'on peut ramener l'explication de la cohésion à la simple loi de l'attraction, il faut, lorsqu'un corps, dont la tenacité est assez grande pour résister à l'effort de son propre poids qui tend à en opérer la rupture, se trouve librement suspendu, et retenu seulement par son extrémité supérieure, que l'action exercée par ses propres molécules les unes sur les autres au point d'attache, soit plus grande

que l'action exercée par la terre sur toute la masse des molécules qui se trouvent placées entre elles et ce même point d'attache.

Prenons pour exemple le cas très-simple d'une verge de fer suspendue verticalement par une de ses extrémités. Le calcul indique que la cohésion du métal est égale à l'effet exercé par une colonne de 6 000 mètres de longueur, et que passé cette limite, le poids de la partie inférieure en déterminerait la rupture. Si donc on isole par la pensée une file de molécules dans le sens de la longueur de cette verge, ou si on la considère comme simplement composée d'une file de molécules à la suite les unes des autres, il faudra qu'au point où s'opèrera la rupture, l'attraction des molécules, appartenant respectivement à chacune des files qui se trouve en deçà et au delà de ce point, soit égale à celle que la terre exerce sur la totalité des molécules qui se trouvent placées entre la terre et ce même point de rupture.

Pour déterminer cette action, examinons de quelle manière l'attraction agit dans ce cas sur les molécules, en supposant d'abord que deux corps A et B de forme sphérique, ayant chacun un volume égal à celui de la terre et de même densité, se trouvant en contact par un point de leur surface, la somme de leurs masses et la distance de leurs centres sont représentées par l'unité. Leur action réciproque sera alors évidemment exprimée par

$$\frac{1}{1^2} = 1.$$

Si l'on suppose actuellement ces corps divisés en sphères de 1 mètre de diamètre et ayant la même densité, le diamètre de la terre étant en nombre rond de 12 000 000 de

mètres, le nombre des sphères composant chacune des deux masses sera de $(12\,000\,000)^3$, et l'attraction de chacune de ces sphères sur celle avec laquelle elle se trouve en contact sera exprimée par

$$\left(\frac{1}{12\,000\,000}\right)^3 : \left(\frac{1}{12\,000\,000}\right)^2 = \frac{1}{12\,000\,000};$$

d'où il suit qu'en supposant la densité de ces sphères 12 000 000 de fois plus grande, ou, en d'autres termes, que leur nombre soit 12 000 000 de fois plus petit, chacune d'elles jouira de la propriété d'exercer à sa surface une attraction égale à celle des deux grands corps l'un sur l'autre. Mais comme l'attraction des sphères en contact doit être assez puissante, ainsi que nous l'avons dit, pour soutenir une file de 6 000 sphères, il faudra que leur action à ce point soit 6 000 fois plus considérable : or c'est ce que l'on obtiendra en augmentant leur densité ou en diminuant leur nombre dans le même rapport de 1 à 6 000, ce qui le réduira à

$$\frac{(12\,000\,000)^3}{12\,000\,000 \times 600} = 24 \times 10^3.$$

Indépendamment de l'action que les deux sphères ou molécules contiguës exerceront individuellement l'une sur l'autre, chacune d'elles exercera sur toutes celles de la même file une action qui sera mesurée par leur masse divisée par le carré de la distance qui les sépare.

Nommons a, a', a'', ... b, b', b'', ... les sphères ou molécules appartenant respectivement à la file placée en deçà et à la file placée au delà du point de contact, et ordonnons leurs distances à partir de ce point; nous trouve-

rons que la somme de l'attraction des deux files l'une sur l'autre comprend : 1° l'attraction de a sur $b = \frac{1}{1^2} = 1$; 2° les attractions de a sur b' et de a' sur b égales toutes deux à $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ et ensemble à $\frac{1}{3}$; et ainsi de suite. La loi de la progression se manifeste dès les premiers termes, et la somme des attractions ou l'attraction totale d'une file sur l'autre sera, en conséquence, donnée par la somme des six mille premiers termes de la suite. $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}$, etc. En ajoutant les neuf premiers termes, on trouve 2,83. Si l'on prend les 90 termes suivants et qu'on en cherche la somme, on arrivera à la même valeur, puisqu'on aura dix fois plus de termes, ayant chacun une valeur moyenne dix fois moindre; et en partageant tous les autres termes en groupes, dont les nombres de termes soient successivement dix fois plus grands, c'est-à-dire de 900 à 9 000, de 9 000 à 90 000, il en sera de même pour chacun des groupes. Par conséquent, la somme des termes de la série, égale à la somme des valeurs des groupes, pourra être exprimée par le produit que l'on obtient en multipliant le logarithme du nombre des termes par la valeur commune des groupes, puisque le nombre des groupes est le logarithme des termes. Dans le cas que nous considérons, le nombre des termes est 6 000; leur somme sera donc

$$2{,}83 \times \log 6\,000 = 2{,}83 \times 3{,}778 = 10{,}79,$$

ou en nombre rond 10. On pourra donc, par suite de cette seconde source d'attractions ajoutée à la première, supposer

les molécules dix fois moins denses et leur nombre dix fois plus considérable, c'est-à-dire égal à

$$24 \times 10^{10} = 240\,000\,000\,000.$$

Ces considérations prouvent que l'action, exercée par les sphères ou molécules les unes sur les autres, est due à deux sources distinctes qu'il importait de considérer chacune en particulier.

La première est l'action de molécules à molécules contiguës ; elle n'a pour effet ni d'augmenter ni de diminuer la longueur totale que formeraient les molécules si on les supposait toutes placées à la suite les unes des autres. En effet, dans le cas qui nous occupe, cette longueur est

$$\frac{(12\,000\,000)^3}{12\,000\,000 \times 600} = 24\,000\,000\,000 \text{ de mètres,}$$

lorsque chaque sphère a un mètre de diamètre : or, pour des sphères d'un millimètre de diamètre, par exemple, on aurait également

$$\frac{(12\,000\,000\,000)^2}{12\,000\,000\,000} = 24\,000\,000\,000$$

sphères ayant un diamètre mille fois plus petit, ce qui formerait la même longueur de 24 000 millions de mètres.

La seconde source de la cohésion est l'action des molécules non contiguës; or, il a été démontré que cette seconde action croît proportionnellement au logarithme du nombre des molécules, et dépend plus particulièrement encore de l'état de division et de densité auquel ces molécules sont réduites. Nous voici donc arrivé à cette conclusion fondamentale que, pour expliquer les phénomènes de la cohésion,

sans recourir à d'autres causes que l'attraction newtonienne, il suffit complétement de supposer : 1° que les molécules des corps se groupent par files d'autant plus longues que la cohésion est plus grande ; 2° que les dimensions des molécules groupées par files sont si petites qu'elles dépassent toutes les idées que nous pouvons nous faire de quantités infiniment petites.

On comprend, en effet, alors que le logarithme du nombre qui exprime la quantité des molécules contenues dans une file d'une longueur finie, aussi petite que l'on voudra, pourra être lui-même assez grand pour augmenter indéfiniment la force attractive qui lie entre elles les diverses parties du système : on pourra par là même supposer que la densité de chaque molécule, et par conséquent l'attraction qu'elle exerce individuellement sur sa voisine est d'autant moindre que le logarithme du nombre des molécules qui constituent la file est plus grand.

Ces conclusions de M. Seguin, relativement au nombre immense et à la petitesse infinie des molécules des corps, n'ont rien que de très-conforme à l'opinion commune des physiciens. Déjà Mushenbroeck avait énoncé, comme démontrées même, expérimentalement, les deux propositions suivantes : 1° Quelque grand que soit le volume d'un corps, les vides compris entre ses molécules sont assez étendus pour qu'on puisse concevoir que ce corps, sans rien perdre de sa substance, puisse être réduit à un volume infiniment petit, à celui d'un grain de sable ou du plus petit atome de matière visible ; 2° Dans le plus petit grain de sable, dans le plus petit atome de matière visible, il y a assez de par ties séparables, ou actuellement séparées, pour qu'on puisse

en former un globe aussi grand que l'on voudra, et dans lequel deux atomes voisins ou contigus seront placés à une distance plus petite que toute longueur assignable. M. Seguin énonce autrement, et, sans sourciller, ces mêmes propositions du savant physicien hollandais : quelque denses que soient les corps, dit-il, leurs derniers atomes sont relativement à leur volume aussi éloignés l'un de l'autre que le sont les corps célestes dans l'espace !

Le groupement des molécules par file, n'est pas moins confirmé par les faits, puisque nous le voyons nettement dessiné dans nos expériences de projections des phénomènes de la cristallisation, comme aussi dans la congélation de l'humidité de l'air à la surface des vitres de nos appartements. Voyez page 13.

Distension ou action des μ *sur les* m. — Nous appelons distension, avec M. Seguin, l'effet résultant de l'action exercée par les μ ou centres de forces animés de très-grandes vitesses, dans leur passage à travers les m ou les systèmes de molécules liées entre elles par la cohésion.

Supposons deux de ces dernières molécules, m et m' placées dans l'espace, la première à l'occident de la seconde, et maintenues à distance par l'effet de l'action d'une force quelconque, égale et opposée à celle de l'attraction moléculaire qui tend à les rapprocher : elles resteront en repos, et conserveront leur position respective tant que les forces qui maintiennent l'équilibre subsisteront. Mais si une troisième molécule μ, venant de l'espace, se dirige vers elles, d'occident en orient, en suivant, en ligne droite, la direction sur laquelle elles se trouvent placées, cette molécule en s'approchant de m l'attirera à elle, en même temps qu'elle en

sera attirée ; m tendra donc à s'écarter de m', et à s'approcher de μ ; en même temps, le mouvement de μ s'accélérera jusqu'à ce que μ se trouve très-près, et presque au contact de m. Arrivées à ce point, et si m' n'existait pas, les circonstances du mouvement relatif de m et de μ se représenteraient dans le même ordre, mais dans un sens inverse, jusqu'à ce que m fût revenue à la place qu'elle occupait d'abord, et que μ eût repris sa vitesse initiale. Mais si m' est placée de telle manière qu'elle commence à exercer une action sur μ pendant que cette dernière molécule est encore soumise à l'influence de m, le mouvement de μ, qui tendait à se retarder, s'accélérera de nouveau ; m, par cela même, sera soustraite en partie à l'action de μ, qui l'aurait ramenée à la place qu'elle occupait d'abord ; elle restera donc un peu en arrière ou plus éloignée vers l'occident qu'elle ne l'était avant le passage de μ. D'un autre côté, μ entrant dans la sphère d'attraction de m' avec une vitesse plus grande que celle qu'elle avait avant d'avoir subi l'action de m' restera moins longtemps soumise à l'action de m'; elle s'éloignera d'elle en l'entraînant par son attraction, et m' restera plus à l'orient qu'elle ne l'était avant le passage de μ ; le résultat final du passage de la molécule μ à travers le système $m\ m'$ sera donc que les molécules m et m' se trouveront plus éloignées l'une de l'autre qu'elles ne l'étaient auparavant, absolument comme si elles s'étaient repoussées.

Si, au lieu de considérer une seule molécule mobile traversant le système fixe $m\ m'$, nous supposons qu'une succession indéfinie de μ passe successivement le long de la droite qui unit m et m', les μ, en s'approchant du système $m\ m'$, prendront une vitesse de plus en plus grande en rai-

son de l'attraction exercée sur eux par m ; leurs distances, ou les intervalles qui les séparent augmenteront évidemment en même temps, elles seront plus grandes près des molécules fixes m et m', et dans leur intervalle, qu'en dehors de l'attraction de ce système ; donc le nombre des molécules mobiles, ou des μ qui agiront pour écarter du centre de gravité commun chacune des molécules fixes, placées sur les confins du système, sera plus grand que celui des μ qui, déjà engagés dans son intérieur, ont pour effet de ramener ces mêmes molécules vers le centre de gravité.

Le passage des molécules μ à travers le système des m aura donc pour résultat d'amplifier ou de dilater ce système en éloignant les molécules qui le composent du centre de gravité commun. Mais, de plus, par ce passage, l'état dynamique de chacune des molécules m a été modifié ; il y a eu en elles accumulation d'une certaine quantité de mouvement ou de force mécanique qui n'existait pas auparavant ; et, par une réaction nécessaire, les molécules μ, en traversant le système des m, auront perdu une partie de la vitesse qui les animait avant d'y entrer.

Résumé et synthèse des phénomènes naturels. — Nous avons considéré un système, ou ensemble de molécules ou monades, obéissant librement à l'action qu'elles exercent les unes sur les autres ; nous avons appelé m celles qui sont groupées autour d'un centre de gravité commun, et qui sont arrivées à un état de repos relatif, avec la faculté toutefois de pouvoir osciller autour de leur position d'équilibre ; nous avons appelé μ les molécules à l'état de liberté absolue, animées de vitesses excessives, et traversant en tout sens le système des m. L'effet de l'action des μ sur les m est d'abord de

les maintenir à distance, de les empêcher de se concentrer au centre de gravité commun, de produire en un mot une force de distension faisant fonction de force répulsive et contrebalançant la force de gravitation qui les entraîne l'une vers l'autre. Si le nombre et la vitesse des μ vient à varier, la force de distension variera aussi; elle sera plus faible ou plus forte, et par là même les m se rapprocheront ou s'éloigneront ; il y aura contraction ou dilatation. Si le nombre et la vitesse des μ va toujours croissant et atteint des proportions assez considérables, le corps formé de l'agrégation des m passera à l'état liquide ou même à l'état gazeux ; il y aura vaporisation. Les m quelquefois se changeront eux-mêmes en μ, et pourront produire à leur tour les mêmes effets, devenir à leur tour des causes de mouvement ; ils traverseront les corps en ligne droite, ils se répandront dans leur intérieur sous forme de chaleur et de lumière, ou circuleront soit autour des corps entiers, soit autour de leurs dernières molécules sous forme de fluide électrique ou magnétique. Tant que la vapeur d'eau est pourvue de calorique ou animée par les μ, elle peut ou échauffer à son tour d'autres corps liquides ou solides, ou soulever le piston de la machine et produire des effets mécaniques, etc.; mais dès que le calorique l'abandonne, dès qu'elle cesse d'être animée par les μ, elle redevient eau ; ses molécules reprennent leur état primitif de m ; elles le reprendront bien plus encore dans l'acte de la congélation. Quoique l'attraction des m soit très-grande, un corps ne peut rester constitué, qu'autant que les molécules en nombre indéfini se disposent en files, ce qui produit la cohésion ; elles ne pourraient pas résister sans cela à l'action désorganisante des μ. Aussi, l'expérience

prouve que si la matière arrive à un état de division très-grande, elle s'enflamme ou se décompose presque subitement c'est ce qui arrive, par exemple, à toutes les poudres fulminantes. Quelquefois, le passage des μ, comme lorsqu'un courant galvanique va, à travers l'eau, d'un électrode à l'autre déterminera une décomposition; quelquefois, au contraire, comme lorsqu'une étincelle électrique éclate au sein d'un mélange d'oxygène et d'hydrogène, ou que quelques atomes de diastase sont mis en contact avec de l'amidon, on verra se combiner instantanément des molécules jusque-là sans action les unes sur les autres. On comprend même très-bien que certaines substances réduites par la trituration dans un état de division vraiment excessif, introduites ainsi dans l'organisme, éminemment aptes à céder à l'action des μ de la chaleur et de l'électricité animales, entraînées dans le torrent de la circulation, puissent produire des effets hors de proportion en apparence avec leur volume infiniment petit, compensé par le nombre immense des atomes et l'immense étendue de leurs surfaces réunis.

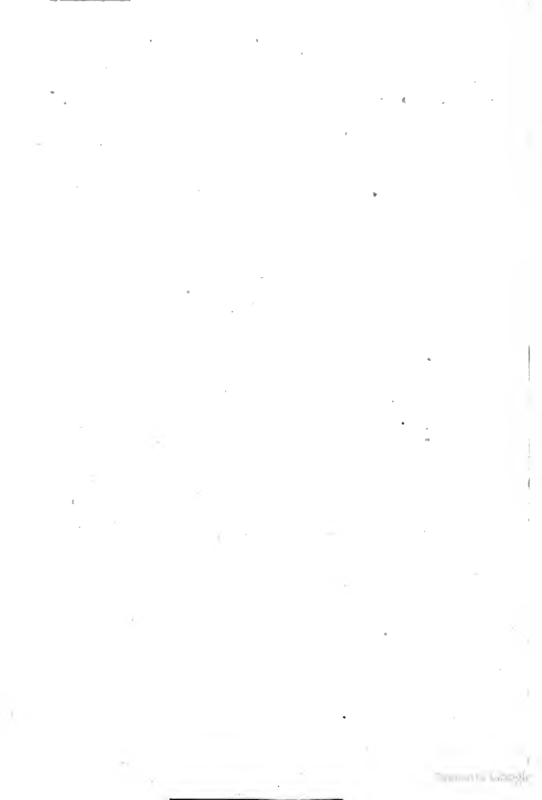


TABLE DES MATIÈRES

Pages.

FIN.

Paris. — Typ. Walder, rue Bonaparte, 44.




BIBLIOTECA